



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**ÚSTAV SOUDNÍHO INŽENÝRSTVÍ**

INSTITUTE OF FORENSIC ENGINEERING

**MODELOVÁNÍ RIZIK VÝROBNÍCH PROCESŮ**

RISK MODELLING FOR PRODUCTION PROCESSES

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

MASTER'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**Bc. Peter Ftáčnik**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**RNDr. Pavel Popela, Ph.D.**

**BRNO 2016**

# Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav soudního inženýrství  
Student: **Bc. Peter Ftáčnik**  
Studijní program: Rizikové inženýrství  
Studijní obor: Řízení rizik firem a institucí  
Vedoucí práce: **RNDr. Pavel Popela, Ph.D.**  
Akademický rok: 2015/16

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

## Modelování rizik výrobních procesů

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Diplomant se seznámí s problematikou modelování rizik ve výrobních procesech. Prohloubí si teoretické znalosti matematického modelování pro rozhodování v podmínkách rizika a neurčitosti. Zpracuje dostupné vstupní informace (materiály, lidské zdroje, strojohodiny, prostoje, opravy, prvky výrobního procesu a jejich návaznosti) a zaměří se na modulace výrobních procesů za pomoci diagramů a optimální využití strojů při minimálních prostojích, a to pokud možno bez jejich přetížení. Dále diplomant vyhodnotí provozní rizika strojů z hlediska jejich závažnosti a navrhne opatření k jejich snížení nebo eliminaci.

### Cíle diplomové práce:

Zpracování rizikového plánu pro vybranou část výrobního procesu na základě reálných dat včetně matematického modelu, jeho softwarové implementace a testování.

### Seznam literatury:

Klapka, J., Dvořák, J., Popela, P. Metody operačního výzkumu. 2. vydání, Brno, Vutium, 2001.

Kall, P., Wallace, S.W. Stochastic Programming, Wiley and Sons, 1993.

Hax, A. C., Candea. D. Production and Inventory Management. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1984.

Smejkal, V., Rais, K. Řízení rizik ve firmách a , jiných organizacích. 2. vydání, Praha: Grada, 2006.

Řepa, V. Podnikové procesy: procesní řízení a modelování. 2. vydání, Praha, Grada, 2007.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/16

V Brně, dne

L. S.

---

doc. Ing. Aleš Vémola, Ph.D.  
ředitel

## **Abstrakt**

Základom fungovania výrobného podniku sú jeho výrobné procesy. Preto by mal podnik zamerať pozornosť na efektívny chod hlavných procesov a prihliadať na riziká, ktoré sú s procesmi spojené. Práca sa zaoberá rozborom rizík vybraných výrobných procesov konkrétneho podniku a to z kvalitatívneho i kvantitatívneho hľadiska. Najskôr sú prezentované výsledky kvalitatívneho rozboru a to najmä v oblasti poruchovosti strojov či postupnosti výroby. Ďalej sa práca zaoberá problémom optimalizácie postupnosti výrobných dávok tak, aby celkový čas potrebný na prednastavenie strojov medzi dávkami bol minimálny. Práca zohľadňuje náhodnosť doby čakania a uplatňuje wait-and-see prístup stochastického programovania k aplikovanej úlohe obchodného cestujúceho. Výpočty sú realizované pomocou programu GAMS a výsledky sú následne spracované v MS Excelu a ďalej interpretované pomocou pojmov deskriptívnej štatistiky.

## **Abstract**

The processes and procedures covered the main core of the professional operations in the manufacturing plant. The enterprise should focus on the efficient running of the main processes and risks associated with these procedures. My thesis deals with the risk analysis of selected manufacturing processes particular company from qualitative and quantitative point of view. First, the results are presented from qualitative risk analysis, especially in scope of failures of the machines or in the sequences of production. Second part focus on the problems of optimization sequence batches that the total time required for pre-setting of machines between doses should be minimal. The thesis also takes random waiting period into the consideration and applies wait-and-see approach of stochastic programming applied in task traveling salesman. Calculations are processed by the GAMS. The results from the GAMS are referred in MS Excel, they are further discussed and interpreted by using descriptive statistics.

## **Kľúčové slová**

Rizika výrobného procesu, analýza rizík, úloha obchodného cestujúceho, zoradenie výrobných dávok, diagram výrobného procesu.

## **Keywords**

Risk of production process, risk analysis, traveling salesman problem, ordering of product batch, production process chart

### **Bibliografická citácia**

Ftáčnik, P. *Modelování rizik výrobních procesů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta podnikatelská, 2016. 70 s. Vedoucí bakalářské práce RNDr. Pavel Popela, Ph.D.

### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že předložená diplomová práce je původní a zpracoval sem jí samostatně. Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná, a že jsem ve své práci neporušil autorská práva (v smysle Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským).

V Brně dne 26. května 2016

.....

## **Pod'akovanie**

Rád by som týmto pod'akoval pánu RNDr. Pavlu Popelovi, Ph.D za odbornú pomoc a čas, ktorý mi venoval počas vypracovania diplomovej práce. Ďalej by som rád pod'akoval Andrejovi Babrňákovi a Vladovi Barinychovi. za spoluprácu a poskytnuté informácie.



# Obsah

Úvod.....	11
1. Vymedzenie problému a ciele práce .....	12
2. Výrobný proces.....	13
2.1. Typy výrobných procesov .....	13
2.1.1. Procesná mapa .....	14
2.2. EPC Diagram .....	14
2.2.1. Základné EPC symboly .....	15
2.3. Predstavenie spoločnosti .....	17
2.3.1. Rozdelenie produktov firmy.....	18
2.4. Vizualizácia výrobných procesov firmy .....	22
2.4.1. Hlavné výrobné procesy .....	23
2.4.2. Vedľajšie výrobné procesy .....	24
2.4.3. Systém zadávania výroby lán .....	24
2.4.4. Výroba jemných vlákien .....	27
2.4.5. Spletanie priadzí .....	29
2.4.6. Proces Prevíjania .....	31
2.4.7. Proces výroby lán .....	33
2.4.8. Proces dokončovania lán .....	35
2.4.9. Proces balenia.....	37
3. Analýza rizík.....	38
3.1.1. Otázky pri analýzy rizika .....	39
3.1.2. Riadenie rizika.....	39
3.2. Kvantifikácia rizika .....	40
3.2.1. Tvorba rizikového plánu .....	40
3.3. Operačná analýza – nástroj znižovania rizika .....	41

3.3.1.	Postoptimalizačná analýza .....	42
3.3.2.	RIPRAN .....	42
3.4.	Analýza rizík výrobného procesu firmy.....	43
4.	Problematika celočíselného lineárneho programovania .....	47
4.1.1.	Okružná dopravná úloha .....	47
4.2.	Úloha obchodného cestujúceho.....	48
4.3.	Stochastické programovanie .....	50
4.3.1.	Wait and see .....	51
4.3.2.	Here and now.....	51
4.4.	GAMS nástroj na modelovanie .....	51
5.	Aplikácia matematického modelu .....	54
6.	Vyhodnotenie rizík a návrhy riešení.....	60
	Záver .....	64
7.	Zoznam použitých zdrojov .....	66
	Zoznam obrázkov.....	68
	Zoznam grafov .....	69
	Zoznam príloh .....	70

## Úvod

Pri projektoch, pri prípravách nových vecí, ktoré nespádajú do rutiny, ale aj v každodennom živote sa stretávame s rizikami, ktoré môžu nepriaznivo ovplyvniť chod nášho plánu alebo života. Je dôležité si ich uvedomiť a po tomto kroku máme možnosť druhy takýchto nebezpečenstiev obmedziť, znížiť alebo v niektorých možnostiach úplne zlikvidovať.

V diplomovej práci sa zaoberám modeláciou rizík výrobného procesu firmy, ktorá vyrába pre zaoceánske lode laná, nielen kotviaceho charakteru. Keďže ide o výrobnú firmu, treba v tomto prípade dbať na dobre zoptimalizovaný a zabehnutý výrobný proces. Tento proces môže byť veľmi zložitý a náročný, preto ho budem podrobne rozoberať a s ním ruku v ruke analyzovať riziká, ktoré by mohli ohroziť správny chod spomínaného výrobného procesu.

V prípade, že firma je schopná proces optimalizovať a obmedziť všetky riziká, ktoré by mohli byť s týmto spojené, mala by tak vykonať. Pričom nehľadím len na premrhaný čas, ktorý musí firma zaplatiť zamestnancom, ale je treba zohľadniť aj premrhané financie či náklady na 1 hodinu prevádzky firmy, ktoré s časom pravdaže súvisia.

Všetky tieto fakty sa môžu nepriaznivo odraziť na predražení výroby čo bude mať na svedomí aj predrazenie produktov a v konečnom výsledku to môže spôsobiť stratu zákazníkov či oslabenie firmy v konkurenčnom boji. Mojm cieľom je včas odhaliť riziká, ktoré môžu nepriaznivo obmedzovať optimálny chod výroby a nájsť riešenie ako ich zredukovať, minimalizovať alebo úplne odstrániť.

# 1. Vymedzenie problému a ciele práce

## Rozdelenie cieľov:

- analýza výrobného procesu firmy, spracovanie procesných diagramov,
- vypracovanie analýzy rizík pre vybranú časť výroby a stanovenie návrhov na zlepšenie,
- aplikácia matematického modelu a softwarové testovanie na problém postupnosti výrobných dávok,
- diskusia a základné štatistické vyhodnotenie výsledkov výpočtov.

Cieľom diplomovej práce je analýza rizík výrobných procesov v podniku. Na základe dosiahnutých poznatkov z reálnych dát bude nasledovať realizácia návrhov na opatrenie pre vybranú časť výroby. Tieto podložené fakty budú spracované v matematickom modeli a simulované v situácií, ktorá zahŕňa náhodnosť.

Výsledkom testovania bude súbor predpokladov pre implementáciu vo výrobe. Na základe dosiahnutých výsledkov popisujúcich možné situácie, ktoré môžu i vplyvom realizácie náhodných veličín nastať. Získané základné štatistické spracovanie umožní manažérovi nadobudnúť rozhľad pre efektívnejšie rozhodovanie v rámci výrobných dávok.

## 2. Výrobný proces

Je možno chápať ako množinu usporiadaných úkonov vo výrobe, tak aby produkovali pridanú hodnotu. Takáto usporiadaná množina musí mať jednoznačného vlastníka – zodpovednú osobu, vstupy – dokumenty, materiál, ľudí a výstupy – polotovary, hotový produkt [10].

### 2.1. Typy výrobných procesov

Zo základného hľadiska rozlišujem tri druhy podľa [8]:

- hlavný,
- riadiaci,
- podporovací.

#### **Hlavné výrobné procesy:**

Predstavujú pre firmu tie procesy, ktoré prinášajú pridanú hodnotu a sú pre podnik dôležité. Všetky spoločnosti kladú na tieto procesy veľký dôraz. Pretože sú to práve ony, ktoré tvoria zisk. Treba pripomenúť, že takýto súbor procesov sa indikuje viditeľnosťou, prinášajú zisk a sú zvyčajne komplikované [8].

#### **Riadiace výrobné procesy:**

Súbor aktivít zabezpečujúci fungovanie samotnej spoločnosti. Zďaleka tak neprinášajú do firmy zisk. Patrí sem napríklad plánovanie alebo vytváranie stratégie a podobne [8].

#### **Podporné výrobné procesy:**

Taktiež si zasluhujú pozornosť, pretože bez podporných procesov by nefungovali procesy hlavné. Ide o prípravu prostredia vďaka podporným procesom k hlavnému výkonu. Medzi tieto procesy radíme napríklad nákup materiálu [8].

### 2.1.1. Procesná mapa

Slúži hlavne k prehľadnosti všetkých procesov vo firme. Pri existencii veľkého počtu procesov sa môže vyskytnúť problém s ich neprehľadnosťou. Procesná mapa má užívateľovi sprehľadniť procesy, jej výhodou je hierarchizácia [8].

## 2.2. EPC Diagram

EPC diagram sa využíva hlavne na formovanie biznis procesov. Diagram jasne a prehľadne určuje, ktoré aktivity budú potrebné na jeho realizáciu. EPC tvorí zložku platformy ARIS, autorom je Prof. Wilhelm-August Scherr [12].

Je ním možné vytvoriť graf zložený z udalostí a funkcií, obsahuje rôzne spojenia a dokáže zobrazit' aj paralelne či alternatívne uskutočňovanie procesov. Zahrňuje používanie operátorov ako sú AND, OR alebo XOR a je obľúbeným pre svoju jednoduchosť, čím sa stáva použiteľným pre širokú škálu spoločností [12].

### „Zásady EPC modelov:

- *EPC model by mal začínať udalosťou.*
- *EPC model by mal končiť udalosťou.*
- *Funkcia a udalosti sa musia striedať.*
- *Čo sa týka spojenia funkcií a udalostí, každá udalosť a funkcia by mali mať len jeden vstupný a výstupný konektor (okrem začiatkovej a koncovkej udalosti).*
- *Každá hrana kontrolného toku musí spájať dva rozdielne objekty (udalosť a funkciu).*
- *Udalosť je pasívny komponent, ktorý nemá rozhodovaciu schopnosť. Túto schopnosť majú len funkcie.*
- *Logické operátory majú viacero vstupov (spojenie) alebo viacero výstupov (vetvenie) ale nikdy nie viac vstupov aj výstupov.*
- *Výstupy operátora musia byť vždy všetky rovnakého typu (bud' udalosti alebo funkcie)“ [12].*

### 2.2.1. Základné EPC symboly

#### Udalosť:

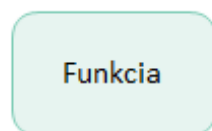
Rozoberá pri akých skutočnostiach je proces alebo funkcia uskutočnená alebo, ktorý proces či funkcia budú nasledovať. Každý diagram má na začiatku udalosť aj ňou končí [12].



Obr. č. 1: Symbol udalosti [2].

#### Funkcia:

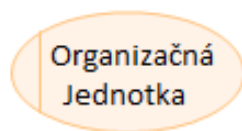
Predstavuje modelovanie úloh v podniku. Zaoberá sa premenou zo stavu vstupu do stavu výstupu. V prípade viacerých možností výstupu je možné použiť na rozvetvenie logické operátory [12].



Obr. č. 2: Symbol funkcie [2].

#### Organizačná jednotka:

Nesie informáciu o tom, ktorý jedinec či podniková jednotka zodpovedá za príslušnú funkciu. Napríklad zamestnanec alebo oddelenie [12].



Obr. č. 3: Symbol organizačnej jednotky [2].

### Informácia alebo materiál:

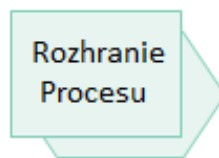
Zastupujú veci reálneho prostredia, slúžia ako základ dát pre funkciu. Napríklad použitý druh materiálu [12].



Obr. č. 4: Symbol informácie alebo materiálu [2].

### Rozhranie procesu:

Symbol rozhrania procesu je totožný symbolu funkcie. Umožňuje hierarchické pokračovanie procesu. Obsahuje jednoduchý názov a v ďalších postupoch je rozvinutý viac dopodrobna [12].



Obr. č. 5: Symbol rozhrania procesu [2].

### Logické operátory:

Umiestňovanie logických operátorov je zamerané na tok medzi udalosťami a funkciami. Ich najhlavnejšou úlohou je rozširovanie tokov z jedného do viacerých tokov či naopak [12].

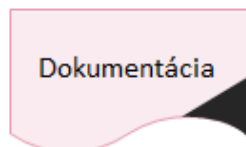


Obr. č. 6: Symboly logických operátorov [2].



### **Dokumentácia:**

Symbolizuje vstupujúci dokument do procesu v papierovej podobe alebo formu reportu, ale môže byť použitý aj ako výstupný dokument. Napríklad výdajka zo skladu [12].



**Obr. č. 7: Symbol dokumentácie [2].**

### **2.3. Predstavenie spoločnosti**

Nórska firma Timm má dcérsku spoločnosť na Slovensku v Trenčíne, ktorá sa zaoberá inovatívnou výrobou syntetických lán. Vyrábajú laná od 2 mm až po 120 mm v rôznych konštrukciách a rôznych typoch materiálov, vrátane polypropylénu, zmesi polyolefínov, polyesteru a polyamidu [14].

Timm má pevnú pozíciu ako dodávateľ nielen kotevných lán. Produkty sú predávané prostredníctvom maloobchodných reťazcov a veľkoobchodníkov vo Švédsku, Dánsku, Fínsku a Nórsku. Výrobky sú vyrábané, tak aby poskytovali dobre vyvážené laná s optimálnou pružnosťou, pevnosťou a trvanlivosťou. Firma produkuje vysoko kvalitné laná v 3 krajinách a distribuuje ich zo skladov v 6 hlavných prístavoch [14].



Obr. č. 8: Mapa výrobných hál a skladov [14].

### 2.3.1. Rozdelenie produktov firmy

Firma vyrába rôzne druhy lán o rôznej dĺžke a rôzneho priemeru, všetko závisí od zadanej objednávky odberateľa.

Základné rozdelenie lán je podľa:

- použitia,
- materiálu,
- konštrukcie.

Podľa **použitia** je možné uvažovať o lanách rozdelených pre:

- lodiarsky priemysel – kotviace laná,
- rybársky priemysel – rybolov,
- laná a komponenty pre rybárske siete – rybie farmy,
- lifting – viazacie prvky na zdolávanie bremien na mori,
- ťažba ropy, plynu – špeciálne laná,
- laná na jachting – výrobky špecializované pre jachting.

Podľa **materiálu**:

- termopolyméry – polyméry, polypropylén, polyetylén,
- polyester, nylón,
- hightech – vysoko-hustý polyetylén.

Rozdelenie podľa **konštrukcie**:

- 3-4 pramenné laná stáčané – väčšinou laná pre rybnie farmy,
- 8-12 pramenné laná kotviace,
- opletané laná špeciál – 2 vrstvová ochrana,

Jeden prameň lana obsahuje od 40 až po 200 šnúr [14].

### **Lano GoldSafety**

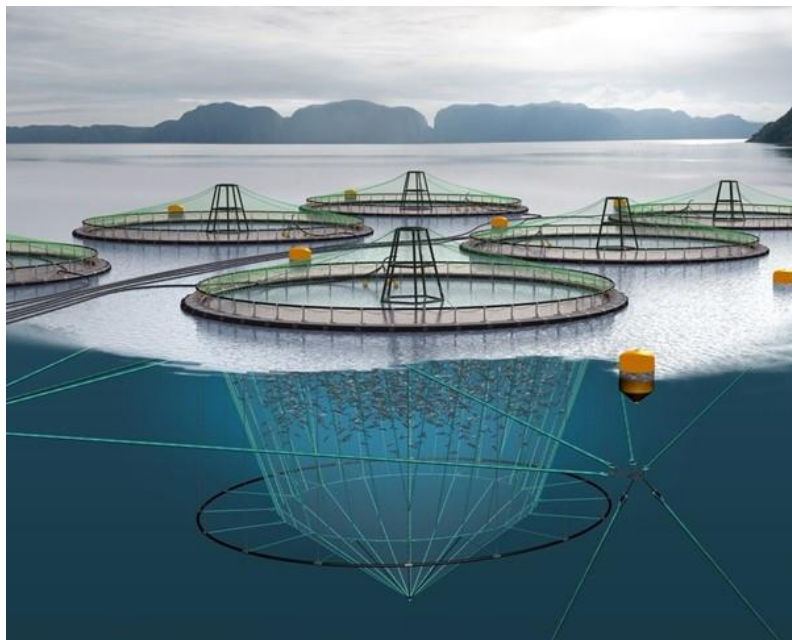
Tvorí približne 70 % výroby firmy. Používa sa hlavne pre kotvenie lodí alebo na rybích farmách. Z hľadiska najviac vyrábaného produktu je teda pre firmu kľúčovým, a preto potrebuje firma pri výrobe zabezpečiť hladký priebeh [14].

Má skvelé vlastnosti, vysokú pevnosť a odolnosť v ťahu i proti prierezu [14].



**Obr. č. 9: Kotviaca loď a GoldSafety [14].**

Ďalšie využitie tohto typu lana je možné pozorovať na spomínaných rybích farmách. Tvoria ho hlavné spevňovacie časti celého sieťového systému, ktorý sa používa najmä pri chovoch tresky.



Obr. č. 10: Použitie GoldSafety na rybích farmách [14].

### **Lano Master**

Vyrába sa pre použitie pri kotvení a je vhodné pre všetky typy lodí, má viac prameňov je to silné a spoľahlivé lano. Obsahuje zmes prémiových polymérov, čo zaručuje flexibilitu a zároveň pevnosť [15].



Obr. č. 11: Lano Master [15].

### **Lano Signal**

Je lano zložené z 12 prameňov, bolo vyvinuté pre priemyselné lode na kotvenie. Je veľmi ľahké a má vysokú pevnosť v porovnaní s hmotnosťou, taktiež vysokú odolnosť voči oderu. Skladá sa zo zmiešaného polyolefinu [15].



**Obr. č. 12: Lano Signal [15].**

### **Lano Flex**

Má veľmi dobré vlastnosti v oblasti pevnosti, je vhodné pre použitie na otvorenom mori. Disponuje hladkým povrchom a taktiež vynikajúcou odolnosťou voči oderu. Materiál je polyamid, vydrží v nepriaznivých podmienkach, silných vetroch a podmorských prúdoch [15].



**Obr. č. 13: Lano Flex [15].**

### **Lano Flexdouble**

Pokročilé dvoj-pletené nylonové kotviace lano. Konštrukčne zložené z 12 prameňov a s vypletaným krytom. Nekolíše, má vysokú odolnosť voči vonkajšiemu poškodeniu, výborne absorbuje nárazy [15].



**Obr. č. 14: Lano Flexdouble [15].**

### **Lano Wincheline**

Obsahuje 12 prameňov, vie odolať ťažkým oderom na ostrých hranách. Nekrúti sa aj keď je plne zaťažené a udržuje si svoj tvar aj pri extrémnom napätí [15].



**Obr. č. 15: Lano Wincheline [15].**

## **2.4. Vizualizácia výrobných procesov firmy**

Pred analýzou rizík výrobného procesu je treba zhodnotiť a zdokumentovať jednotlivé procesy do potrebných detailov.

Vzhľadom na to, že výroba lán je pomerne náročný proces a k tomu aby uspokojili požiadavky rozmanitých zákazníkov, ktoré sa neustále menia a to všeobecne tak,

že zvyšujú svoje nároky na kvalitu lana a zase naopak znižujú požiadavky na cenu. Je teda žiadúce dbať na plynulý beh výroby bez zbytočných strát a omeškaní.

Keďže firma ponúka širokú škálu produktov, odzrkadlí sa to aj na počte výrobných či kompletačných procesov.

Na zachytenie postupnosti, ako sa z granulovanej formy až po finálny produkt laná vyrábajú, som na spracovanie jednotlivých procesov použil zobrazenie v EPC diagramoch. V diagramoch je možné zachytiť hlavné činnosti, ktoré sú potrebné na uskutočnenie finálneho produktu.

Ako už bolo spomenuté, spoločnosť vyrába široké spektrum lán a každá odnož či len menšia zmena od štandardu si vyžaduje nové nápady, s ktorými vznikajú a prichádzajú nové procesy na vyprodukovanie požadovaného lana.

#### **2.4.1. Hlavné výrobné procesy**

Hlavný výrobný procesom je uskutočnenie výroby lán. Predstavím hlavný výrobný proces, ktorý začína od uskladnenia materiálu.

Prvým aspektom pre výrobu je prevoz granulovaného materiálu na linku, ktorá zabezpečuje roztavenie príslušnej hmoty a premenu zrníčok na dlhé nekončiace jemné vlákna. Tieto jemné vlákna sa neskôr zapletajú do takzvaných priadzí, tento úkon má na starosti ďalší stroj.

Po vyhotovení priadzí nastáva navíjanie priadzí na veľké drevené cievky. Tieto cievky sa ďalej použijú pri kompletizácii lana.

V prípade ak lano prešlo farbením, musí sa vysušiť, nakoniec prebehnú dokončovacie práce a lano sa zabalí a je pripravené na odvoz k zákazníkovi.

Najviac variabilnú zložku v hlavnom procese predstavuje pretypovací čas pri nastavovaní strojov na požadovaný druh či hrúbku lana, ktoré vyžaduje zákazník.



### 2.4.2. Vedľajšie výrobné procesy

Tieto procesy prebiehajú paralelne s výrobou ide hlavne o impregnačné prípravy a šitie komponentov medzi, ktoré je možné zaradiť ochranné prvky lán napríklad proti oderu, ktoré sa na laná upevnia pri finálnom dokončovaní.



Obr. č. 17: Ochranné komponenty Master [15].



Obr. č. 16: Obal proti oderu [15].

### 2.4.3. Systém zadávania výroby lán

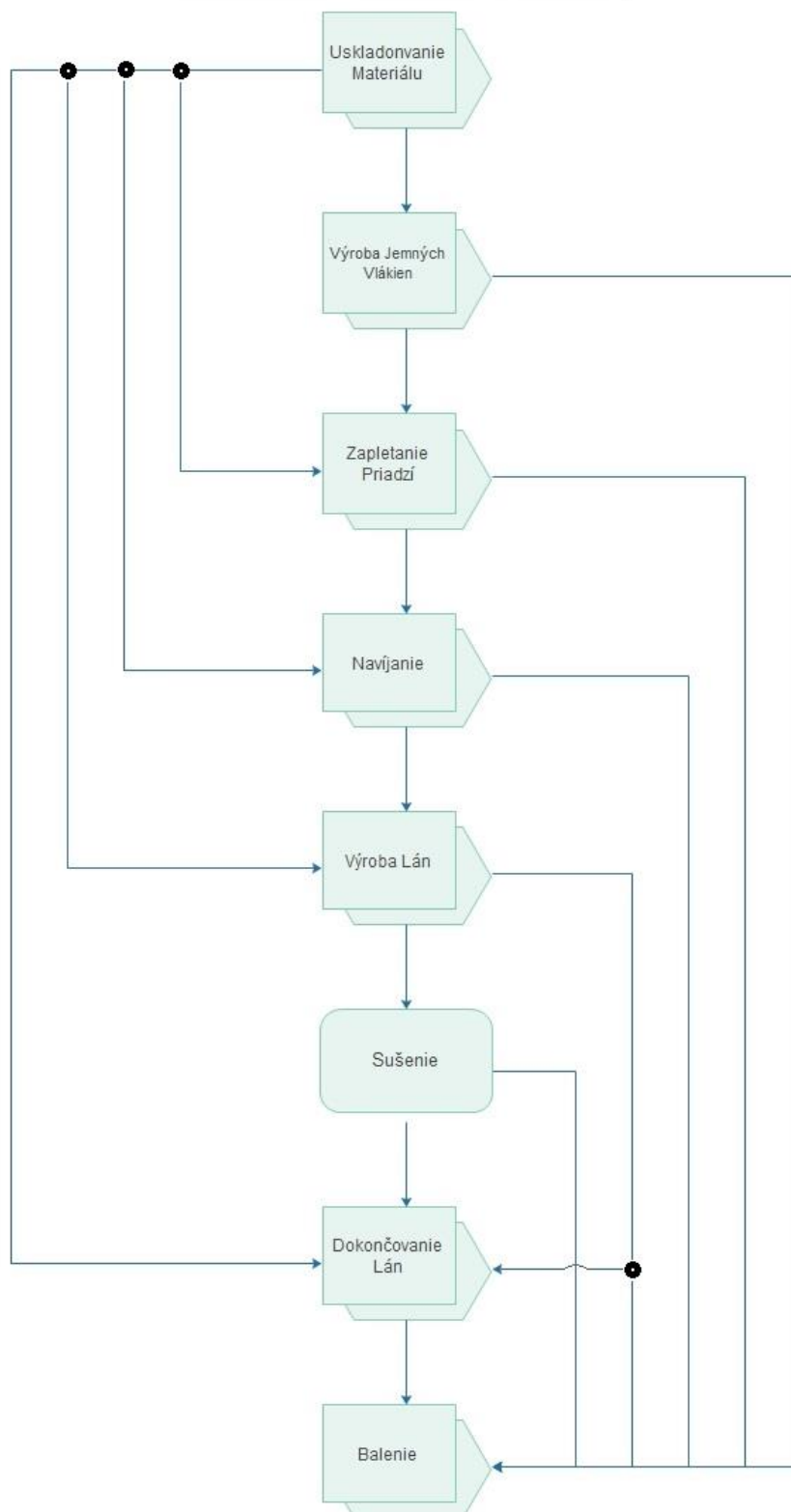
Je celý postavený na základe objednávok. Keďže u firmy prevažne prevláda hromadná výroba je systém zadávania výroby lán nasledovaný podľa objemu požadovanej produkcie.

Samozrejme je ďalej ovplyvnený od požiadaviek zákazníka na kompletizačné a dodacie termíny. Pri prípadnej požiadavke na objednávku, ktorá ma kratšie termíny sa uvažuje nad posunutím takýchto lán pred ostatné a naopak. Rozhoduje dĺžka, typ lana, dôležitosť odberateľa. V skutočnosti sa dá tvrdiť, že rôzne druhy lán nie sú posielané do výroby efektívne.



Pre vizualizáciu výrobných procesov som využil prehľadnosť EPC diagramu. Na ďalších stránkach je možné pozorovať rozmanitosť výrobných procesov v rámci rôznych požiadaviek zákazníkov. Tieto procesy sú zobrazené v príslušných diagramoch na strane 26 až 37.

## Hlavné výrobné procesy



● - OR

Obr. č. 18: Zobrazenie hlavných výrobných procesov firmy (Zdroj: Vlastné spracovanie)

#### 2.4.4. Výroba jemných vlákien

Prvým procesom, bez ktorého sa bezpochyby podnik nezaobíde je výroba jemných vlákien alebo nití, ktoré sú súčasťou každého výstupného produktu.

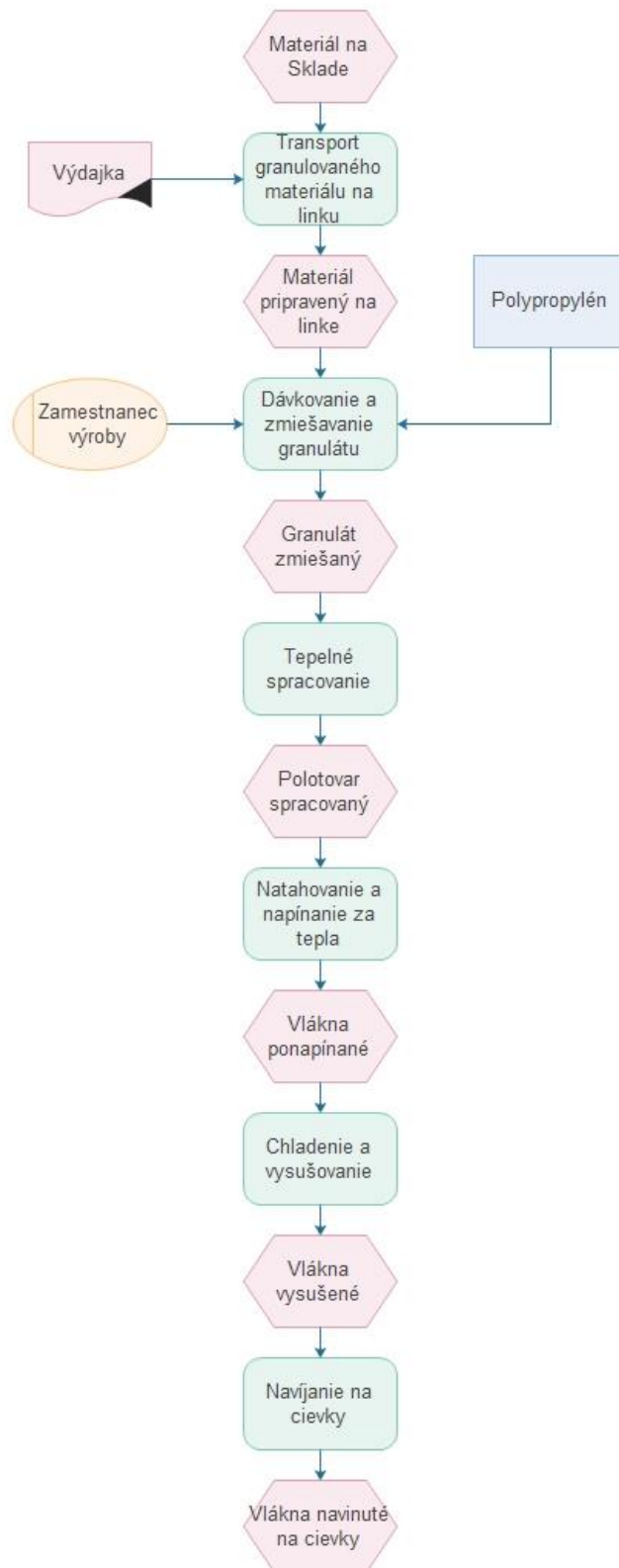
Zameriavame sa hlavne na pozorovanie rizikových javov, kde treba započítať manipulačný čas dodania materiálu medzi skladoom a strojom, prípravné práce a schvaľovací časť začiatku spustenia procesu produkcie jemných vlákien.

Výsledkom sú vlákna, ktoré sa môžu líšiť hlavne v rozmanitej farbe. Do granulovaného materiálu sa pridávajú malé časti farebného materiálu podobné kávovému zrnku, všetko je kontrolované prostredníctvom zadaných objednávok.



Obr. č. 19: Stroj vyrábajúci jemné vlákna [15].

## Výroba jemných vlákien



Obr. č. 20: Proces výroby jemných vlákien (Zdroj: Vlastné spracovanie)

#### 2.4.5. Spletanie priadzí

Priadze sú zapletené vlákna do jednej žily. Podľa potreby firma berie už hotové jemné vlákna zo skladu alebo má možnosť brať vlákna rovno z výroby.

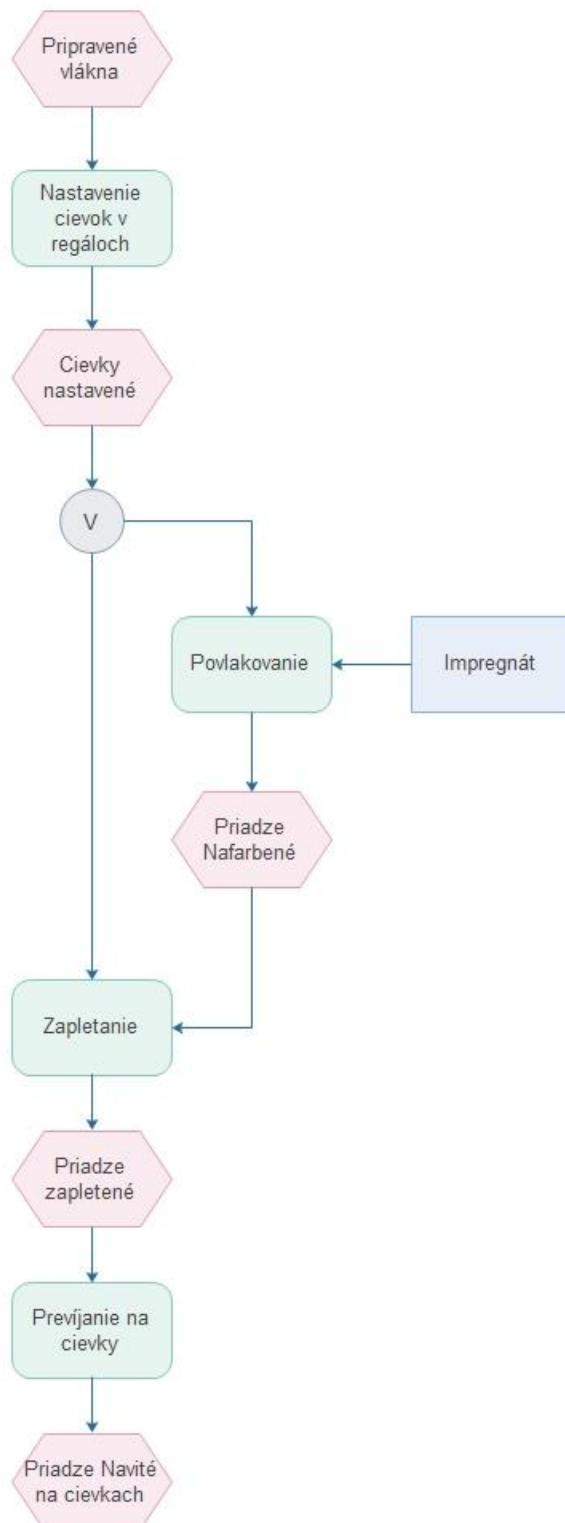
Vlákna sa pripravujú na spletanie do stroja. Počítame s časom prípravným, taktiež manipulačným a dobou počas ktorej sa stroj musí nastaviť.

Ďalším krokom je možnosť biele vlákna zafarbovať impregnátom, ktorý je postavený na báze lepidla zmiešaného so špeciálnou farbou. Rozhodovací proces funguje na základe objednávky od zákazníkov.



Obr. č. 21: Stroj na spletanie priadzí [14].

## Spletanie priadzí



Obr. č. 22: Proces výroby spletaných priadzí (Zdroj: Vlastné spracovanie)

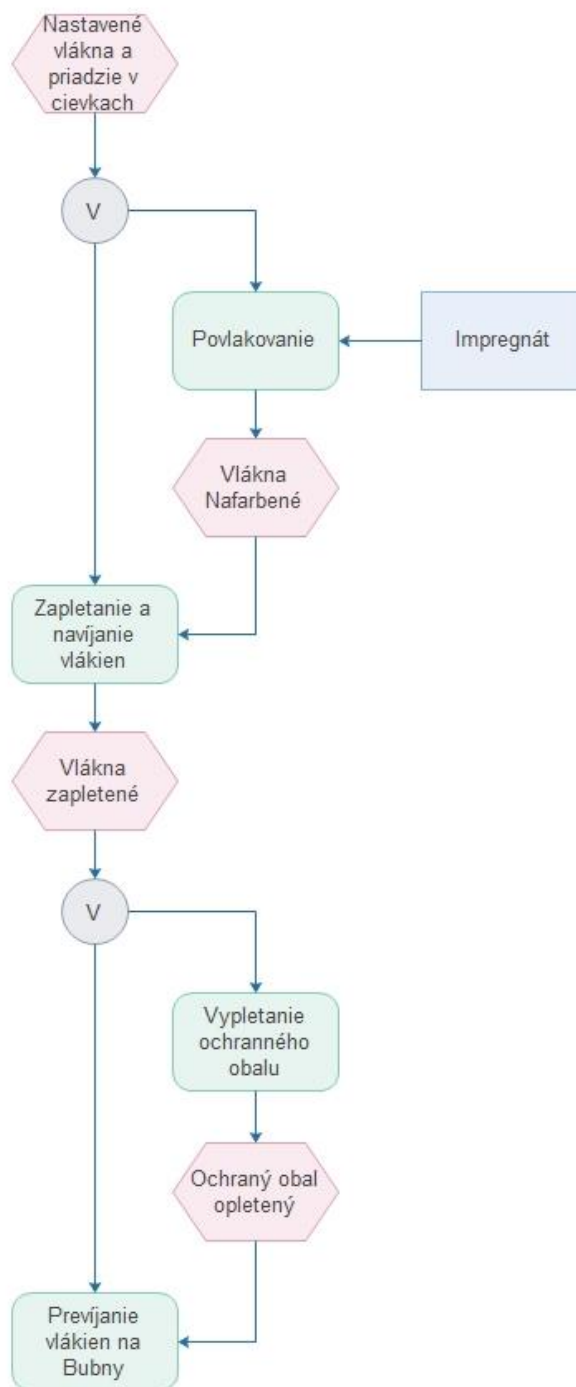
#### **2.4.6. Proces Prevíjania**

Táto neoddeliteľná súčasť produkcie lán sa zväčša skladá len z prevíjania. Ide o postup presunu vlákien z malých cievok na bubny, kde sa ďalej tento bubon použije na zapletanie hotového lana.

Pri procese je možno biele vlákna znova prefarbiť ochrannou vrstvou impregnáty, pričom sa dá tento proces vynechať, ak sa už farbenie uskutočnilo. Podľa žiadosti zákazníka sa do procesu ešte zapája vypletanie ochranného obalu, ktorý má hlavne lano chrániť proti oderu a predĺžiť tak jeho životnosť či zlepšiť jeho vlastnosti.

V prípade analýzy optimalizácie výrobných dávok bude treba rátať s časom manipulačným, impregnačným, prípadne s dobou potrebnou na vyhotovenie ochranného obalu proti oderu.

## Prevíjanie



Obr. č. 23: Proces prevíjania z cievok na bubny (Zdroj: Vlastné spracovanie)



#### **2.4.7. Proces výroby lán**

Povrazy sa zapletajú na strojoch, ktoré vyrábajú 3-prameňové, 4-prameňové a 12-prameňové láná. Pri najviac prameňových má zákazník možnosť objednať si najpevnejšiu verziu lana a to 12 prameňové lano omotávané na oceľový základ.

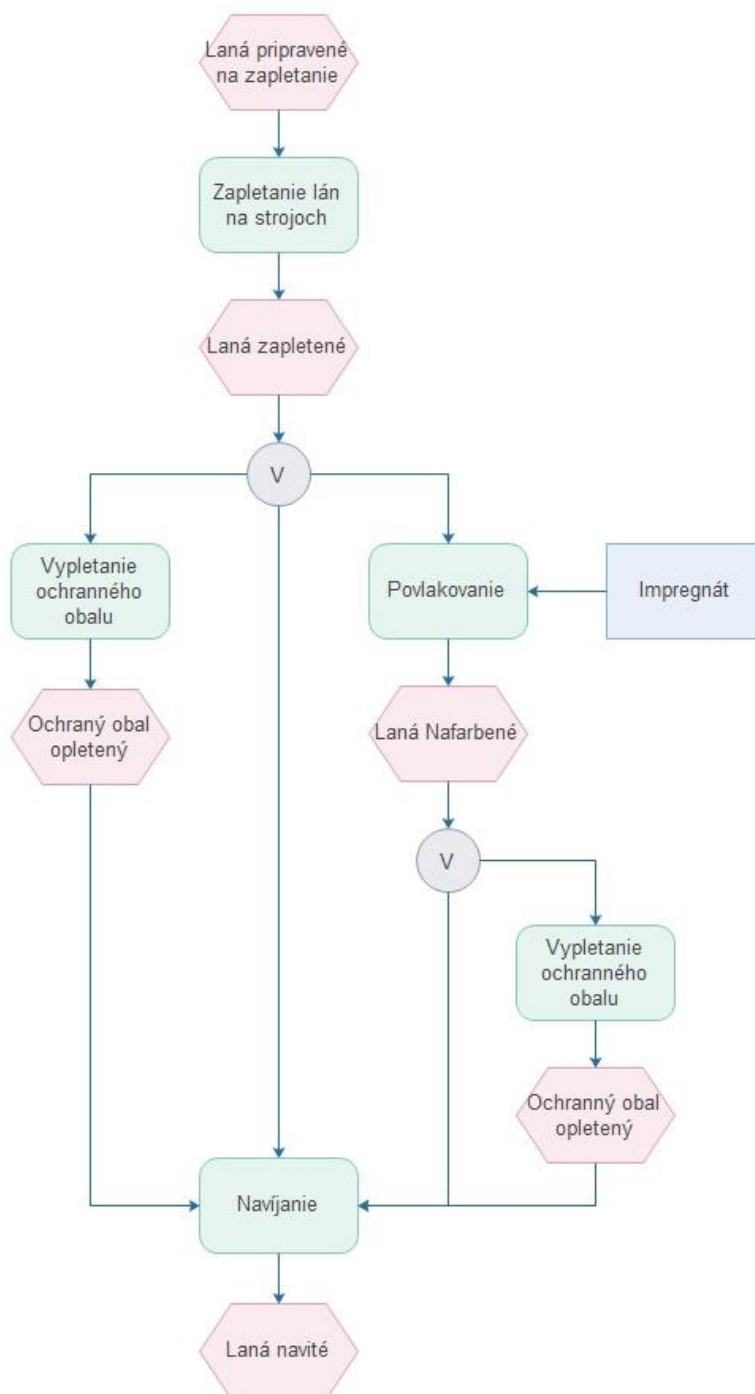
Medzi úpravy je možné vychádzať z farbenia pomocou impregnátu, taktiež pri potrebe obmotania lana ochranným obalom podľa zákazky.

Pri analýze zase zohľadňujeme čas potrebný na nastavenie stroja, manipuláciou materiálu, prípadne náhodnou kontrolou nastavenia. Tieto stroje potrebujú častú údržbu, z pohľadu bezproblémovej funkčnosti. Udržujú sa v chode a medzi výmenami sa mažú prípadne sa kontrolujú mechanické časti.



**Obr. č. 24: Stroj na výrobu lán [14].**

## Výroba lán



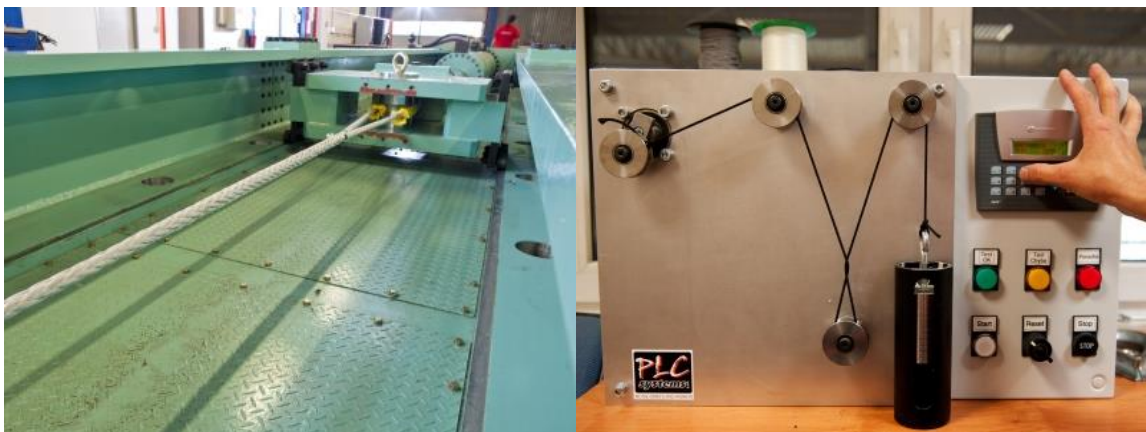
Obr. č. 25: Proces výroby lán (Zdroj: Vlastné spracovanie)

#### 2.4.8. Proces dokončovania lán

Pred dokončením sa na laná podľa požiadaviek zakomponujú drobné komponenty. Medzi, ktoré patria hlavne ochranné puzdrá a koncové oká.

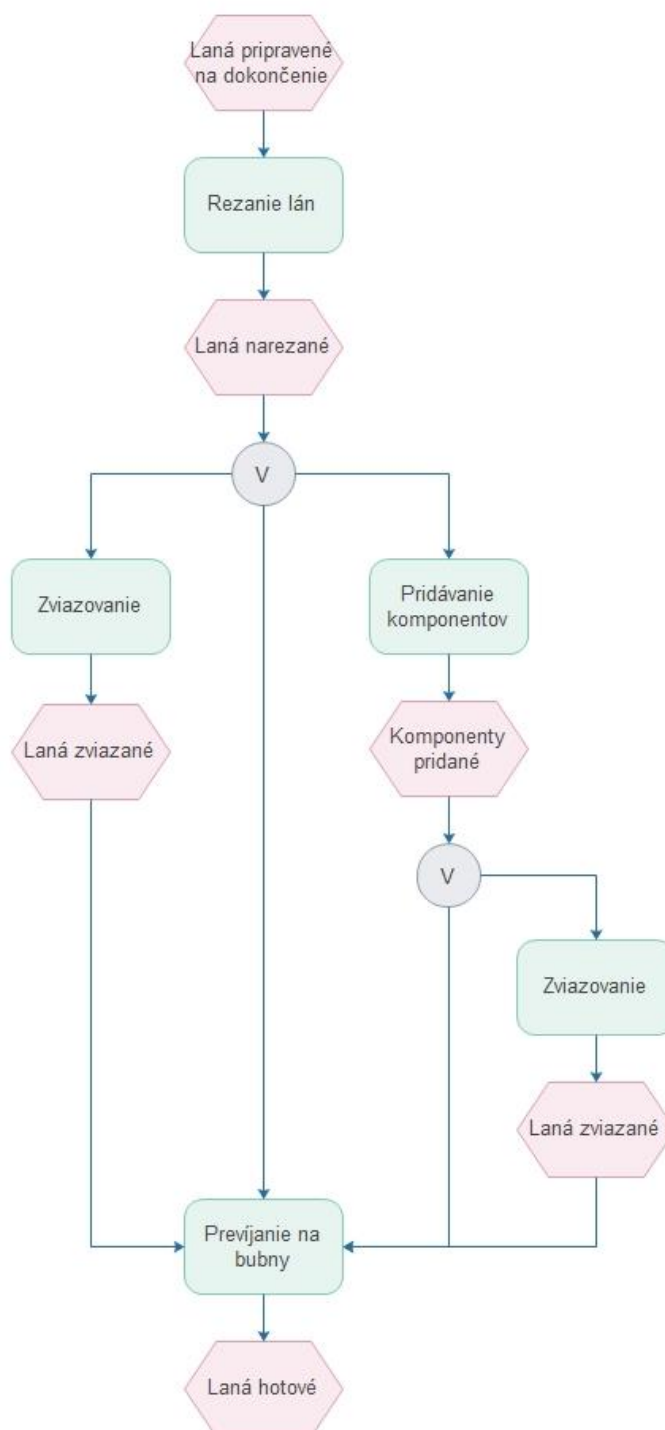
Firma ponúka oboje komponenty na jedno lano. Do optimalizácie výrobnnej dávky pripočítame k jednotlivým lanám, na ktoré sú najčastejšie upevňované spomínané komponenty interval doby potrebný na manipuláciu s lanom, a ďalej s finálnou kontrolou. Táto kontrola je zameraná na správne uchytenie komponentu na povraze a pevnosť vo šve.

V prípade ak ide o nové ešte netestované lano z oddelenia výskumu a vývoja. Lano prejde testovaním pevnosti a ťahu. To znamená, že vyrobené lano roztrhnú, namerajú získané hodnoty a ak splňuje požiadavky zaradia ho do svojho zoznamu produktov a nový druh lana sa znovu pošle do výroby.



Obr. č. 26: Testovanie novo vyvinutých lán [14].

## Dokončovanie lán



Obr. č. 27: Proces dokončovania lán (Zdroj: Vlastné spracovanie)

#### 2.4.9. Proces balenia

Posledným procesom je balenie, sú tu úkony, ktoré sú nevyhnutné vykonať pre prípravu expedície a naloženie bubnov do kamiónov za pomoci vysokozdvížných vozíkov. Na túto dobu, do ktorej zaradujeme balenie a označovanie, takisto nesmieme zabudnúť a pripočítať do času pre optimalizáciu výrobnéj dávky.

### Balenie



Obr. č. 28: Proces balenia hotových produktov (Zdroj: Vlastné spracovanie)

### 3. Analýza rizík

Krok prvotný, ktorý potrebujeme uskutočniť pred znižovaním rizika je jeho analýza či výskum. Tento proces spočíva v určení hrozieb, ktoré môžu vzniknúť, ich pravdepodobnosť a finálny dopad na hodnoty firmy [11].

Citujem: „*Cieľom analýzy rizika je dať:*

- *manažérovi rizika podklady pre ovládanie rizík,*
- *rozhodovateľovi podklady pre rozhodovanie o riziku“* [13, str. 120].

Pri skúmaní nejde o isté javy. Tie nebezpečenstvá, o ktorých firma vie nebudú analyzované. Predsa len môže nastať skutočnosť kedy je potrebné predstaviť scenáre možných rizík a následných dopadov na fungovanie firmy [13].

Citujem: „*Analýza rizík spravidla zahŕňa:*

- *identifikácia aktív – vymedzenie posudzovaného subjektu a popis aktív, ktoré vlastní,*
- *stanovenie hodnoty aktív – určenie hodnoty aktív a ich význam pre subjekt, ohodnotenie možného dopadu ich straty, zmeny či poškodenie na existenciu či chovanie subjektu,*
- *identifikácia hrozieb a slabín – určenie druhov udalostí a akcií, ktoré môžu ovplyvniť negatívne hodnotu aktív, určenie slabých miest subjektu, ktoré môžu umožniť pôsobenie hrozieb,*
- *stanovenie závažnosti hrozieb a mieri zraniteľnosti – určenie pravdepodobnosti výskytu hrozby a miery zraniteľnosti subjektu voči danej hrozbe.*

*Kvalitné riešenie akéhokoľvek problému v akejkoľvek oblasti je vždy postavené na kvalitnej analýze rizík, ktorá je základným vstupom pre riadenie rizík“* [11, str. 81].

### 3.1.1. Otázky pri analýze rizika

Pri rizikovej analýze ide spravidla o identifikáciu a aj kvalifikáciu nebezpečenstva a kvantifikáciu rizika. Pri spracovaní spomínanej analýzy si je dobré položiť tieto otázky:

1. *„Aké nepriaznivé udalosti môžu nastať ?*
2. *Aká je pravdepodobnosť výskytu nepriaznivých udalostí ?*
3. *Ak niektorá nepriaznivá udalosť nastane, aké to môže mať následky?*
4. *Aké poruchy môžu vo vyšetrovanom objekte alebo procese vzniknúť ?*
5. *Ako často môžu poruchy vzniknúť ?*
6. *Čo všetko sa môže po vzniku poruchy stať ?“* [13, str. 125].

### 3.1.2. Riadenie rizika

Pri riadení rizika je potrebné položiť si otázku či sú riziká vo firme, tak vysoké, že potrebujú na svoje zvládnutie svoje oddelenie. Cieľom riadenia rizika je znižovanie dopadov či eliminácie možných hrozieb [13].

Manažment rizika má na starosti z vnútorného pohľadu či pôsobením komerčného prostredia na firmu za úlohu:

- *„obmedziť zvyšujúce sa náklady spojené s*
  - *realizáciou nebezpečenstva,*
  - *elimináciou rizík,*
- *znižovať stávajúce vlastné náklady,*
- *obmedziť straty včasným varovaním,*
- *objektívizovať rozhodovacie procesy*
  - *spolahlivejším plánovaním,*
  - *obmedzením voluntarizmu a náhodného rozhodovania vrcholového a stredného manažmentu,*
- *zlepšiť image a rating organizácie,*
- *získať výhodu proti konkurencii, ktorá riziká neriadi“* [13, str. 210].

## 3.2. Kvantifikácia rizika

Je určitá časť výskumu rizika kedy sa numericky vyhodnocuje a rozoberajú možnosti nebezpečenstva [13].

Citujem: „Cieľom kvantifikácie rizika je:

- *Odhadnúť početnosť a závažnosť strát, ktoré môžu ohroziť projekt*
- *Priorizovať rizika podľa ich hodnôt*

V kvantifikácii rizika sa uplatňujú:

*Analytické odhady na základe matematicko-štatistickej a pravdepodobnostnej analýzy, vychádzajúci z pravidla z modelovania vyšetrovaných javov.*

*Empirické odhady založené na skúsenosti, spravidla ide o relatívnu kvantifikáciu. Pri empirických odhadoch sa obvykle používa niekoľko veličín“ [13, str. 151].*

Medzi numerické kvantifikácie môžeme zaradiť absolútne kvantifikácie, ktoré majú za úlohu určiť riziko strát napríklad v peňažných jednotkách, počtu pracovnej neschopnosti či v časových jednotkách vyjadrujúce vymedzený úsek, o ktorý by sa mohla omeškať dodávka alebo predĺžiť výroba [13].

Kompletne by nás kvantifikácia rizika mala informovať nie o zhodnotení výsledkov z minulosti, ale naopak o odhade budúcnosti [13].

### 3.2.1. Tvorba rizikového plánu

Takýto plán má poradie postupu krokov podľa [13]:

- 1) Ide hlavne o aktivačné procedúry – tie nám prinášajú informácie o tom, že by mohlo dôjsť k riziku.
- 2) Stanovenie rezerv či plánov na zmiernenie jednotlivých rizík a to:
  - znížením pravdepodobnosti vzniku,
  - zmierniť následky po vzniku,
  - použiť náhradný rezervný plán pri vzniku rizika.



### 3.3. Operačná analýza – nástroj znižovania rizika

Pri minimalizácii rizika v racionálnej oblasti môžeme použiť rôznu skupinu metód. V prípade tejto problematiky použijeme funkcie operačnej analýzy. Nástroj operačnej analýzy používa základy v deterministických modeloch [11].

Pri použití môžeme aplikovať zníženie pri:

- „ešte pred výpočtom modelu – zbieraním a následným vyhodnotením všetkých relevantných dát a informácií, nutných pre tvorbu a výpočet modelu,
- po výpočte modelu – správnou interpretáciou výstupných parametrov modelu získame kvalitatívne vyššie informácie, čím vzniká šanca v reálnom podnikateľskom procese znížiť riziko na únosnú mieru“ [11, str. 141].

Rozhodovanie je založené na výsledkoch či poznatkoch analýzy. Cieľom je nájsť optimálny výsledok, ktorý bude podľa [11]:

- algoritmizovateľný,
- opakovane riešený,
- optimálny (pri minimálnych nákladoch alebo maximálnom zisku).

Pre firmy slúži operačná analýza najmä ako podklad pre finálne rozhodovania. Patrí medzi aplikácie, ktoré zväčša podporujú proces rozhodovania manažmentu. Rozhodovacie procesy o ďalších krokoch podporovaných výsledkami operačnej analýzy sa zväčša vyskytujú na operatívnej úrovni, pri ktorých sú vzťahy medzi jednotlivými vstupmi a výstupmi jasne určené. Riešenie týchto úloh je podložené deterministickými modelmi operačnej analýzy. V reálnej sfére môžeme pozorovať použitie najmä sieťovej analýzy, lineárneho programovania a podobne [11].

V prípade úlohy, ktorú budem riešiť v ďalších kapitolách je potrebné spomenúť, že pre posúdenie rizík je dôležité zohľadniť práve neurčitost'. Táto neurčitost' bude vyjadrená prostredníctvom konkrétnej časovej voľnosti to jest budem zvyšovať alebo zmenšovať časový interval vo výpočet. Takto zabezpečím simuláciu prípadného omeškania alebo naopak rýchlejšie ukončenej činnosti.

### 3.3.1. Postoptimalizačná analýza

V reálnom prostredí sa stretneme pri modelovaní ich simulácií s rôznymi zmenami. Napríklad ide o upresnenie niektorých vstupných premenných parametrov či pri dôvode nepriaznivých výsledkov, na základe ktorých bol model vytvorený [11].

Citujem: „*Postoptimalizačná analýza skúma vplyv dodatočných zmien parametrov úlohy a ich štruktúry na finálnom riešení. Riešenie ľubovoľnej úlohy môžeme skúmať z hľadiska jej stability s ohľadom na zmeny parametrov úlohy. Táto analýza sa tiež nazýva analýza citlivosti (senzitivnosti)*“ [11, str. 143].

Ku príkladu môžeme uviesť zmeny napríklad v koeficientoch účelovej funkcie, zmeny hodnôt vstupných alebo výstupných premenných alebo ich kombinácia. Táto analýza nesie význam najmä v tom, že miesto jedného pevného riešenia nám otvára možnosť analýzy chovania systému a odhaľuje pôsobenie zmien na celkové správanie tohto systému [11].

Ak sa bude vyskytovať dodatočná potreba zmeny hodnôt vo výpočtoch, tak bude v práci táto analýza zohľadnená.

### 3.3.2. RIPRAN

„*Metóda RIPRAN (Risk PROject ANalysis), predstavuje empirickú metódu pre analýzu rizík projektov. Vychádza dôsledne z procesného poňatie analýzy rizika. Chápe analýzu rizika ako proces*“ [9].

„*Celý proces analýzy rizík podľa metódy RIPRAN sa skladá z nasledujúcich fáz:*

- *príprava analýzy rizika,*
- *identifikácia rizika,*
- *kvantifikácia rizika,*
- *odozva na riziko,*
- *celkové zhodnotenie rizika*“ [9].

„*Praktické metódy RIPRAN v praxi: Metóda je zameraná hlavne na spracovanie analýzy rizika v projekte, ktorú je potrebné vykonať pred jeho vlastnou implementáciou. Je možné využiť ju vo všetkých fázach projektu. Metóda nerieši proces monitorovania*

*rizík v projekte. Kedykoľvek je však identifikované nejaké nové nebezpečenstvo alebo sa zmení situácia, ktorá si vyžaduje prehodnotenie určitého rizika, je možné opäť použiť metódy RIPRAN aj v priebehu monitorovania projektových rizík“ [9].*

### **3.4. Analýza rizík výrobného procesu firmy**

Z hľadiska toho, že vedúci výroby má za úlohu zefektívniť výrobný proces a správnym smerom znížiť výrobné náklady bez toho aby sa muselo zasahovať do kvality lán, sme spoločne so súhlasom vedúceho výroby a riaditeľa zvolili základ metódy RIPRAN.

Určenie hrozieb, ktoré ohrozujú uskutočnenie zamýšľaných plánov, sme spoločne s vedúcim pracovníkom výroby skonzultovali a jednotlivé rizika ohodnotili na stupnici od 1 do 10. Zaoberali sme sa hlavne rizikami, ktoré priamo ohrozujú alebo zbytočné predražujú produkty.

Medzi takéto riziká patria hlavne poruchy strojov. Najväčnejšie poruchy strojov pri skúmaní v záznamoch interných dokumentov z minulosti, ktoré bolo treba opraviť, trvali približne 2 niekedy aj 3 týždne.

Pri takejto rozsiahlej poruche dôležitého spletečného stroja bola pozastavená celá časť tejto výroby. Logicky, keď firma nevyrába, nemôže ani nič zarobiť a preto je treba dobiehať. Preto sme zvolili tento fakt za riziko a zahrnuli ho do metódy.

Firma spolieha na opravárenské spoločnosti, ktoré chodia stroje pri poruchách opravovať. Po ďalšom bádaní som zistil, že za väčšinu porúch mohla zanedbaná údržba.

Ďalšie veľké riziko je v neoptimalizovanom procese zadávania produktov do výroby. Celý proces riadi objednávkový systém, na základe ktorom sú posielané požiadavky na výrobu. Určuje aj poradie podľa predpokladov dodania výrobku zákazníkovi. Pritom vôbec nezohľadňuje jednotlivé nadväznosti na časovú náročnosť výroby produktov.

Pri vývoji nových lán, na ktoré sa firma špecializuje. Dochádza k ich testovaniu a pri splnení rozličných testov k ich certifikácii. Proces končí roztrhnutím lana.

Tieto zvyšky roztrhaných lán nemajú žiadne využitie. Umiestňujú sa do vopred určených kontajnerov a likvidujú sa na náklady firmy. Takto spoločnosť prichádza a množstvo materiálu, času, peňazí a energie.

Laná musia byť testované, pretože bez príznačnej kvality, ktorú firma garantuje, nemôžu byť zaradené do výrobného programu. Dokonca je firma zodpovedná a ručí aj za to, ak by lano na lodi alebo u zákazníka nevydržalo a roztrhlo sa, zaplatiť všetky spôsobené škody na majetku. Spoločnosť je voči takýmto javom poistená.

Posledným rizikom, na ktorom sa zhodli je zvýšená úrazovosť pracovníkov. Jedná sa hlavne o malé rezné rany alebo poranenia podobného typu. Tieto úrazy vznikajú predovšetkým pri manipulácií s bremenami. Nemusí to byť pravidlom, ale v niektorých prípadoch môžu spôsobiť dočasnú pracovnú neschopnosť a nepriaznivo ohrozovať priebeh výroby ak sa jedná napríklad o kľúčových zamestnancov.

Po pracovnej ploche sa pohybujú aj vysokozdvížne vozíky privážajúce materiál a majú na starosti i presun hotových výrobkov. Aj pri tejto manipulácii vznikajú zranenia. Z minulosti nie sú záznamy o veľmi vážnych úrazoch.

Pravdepodobnosti zohľadnené v číslach:

**Tabuľka č. 1: Pravdepodobnosť, hodnoty rizika a reakcie (Zdroj: Vlastné spracovanie)**

Pravdepodobnosť		Hodnota rizika a reakcia		
Malá	1-3	SHR	1-33	Vyhnutie riziku
Stredná	4-7	MHR	34-66	Akceptovanie rizika
Veľká	8-10	VHR	67-100	Rizikový plán

Úlohou je kvantifikovať riziká číselným vyjadrením a následne vypočítať hodnotu rizika = pravdepodobnosť\*dopad.

Hodnota rizika vyjadrená v tabuľke č.1 je nasledovná:

- SHR – slabá hodnota rizika
- MHR – mierna hodnota rizika
- VHR – veľká hodnota rizika

V číselnom vyjadrení rizík sme sa s účastníkmi analýzy dopracovali k týmto výsledkom:

**Tabuľka č. 2: Hodnoty jednotlivých analyzovaných rizík (Zdroj: Vlastné spracovanie)**

Číslo	Hrozba	Scénar	Pravdepodobnosť Hrozby (1-10)	Dopad	Hodnota rizika	Reakcia
Riziko 1	Zastavenie výroby kvôli poruchám strojov	Porucha stroja kvôli zanedbaniu pracovných postupov	7	8	56	MHR
Riziko 2	Predlžovanie výrobného procesu	Zvyšovaním výroby nastane predlžovanie výrobných procesov	9	8	72	VHR
Riziko 3	Zvýšené náklady na likvidáciu odpadu	Zvýšením výroby nových typov lát určite nastane zvýšenie odpadu	10	3	30	SHR
Riziko 4	Zvýšená Úrazovosť pracovníkov	Drobné úrazy počas pracovnej doby z nedbalosti	3	6	18	SHR

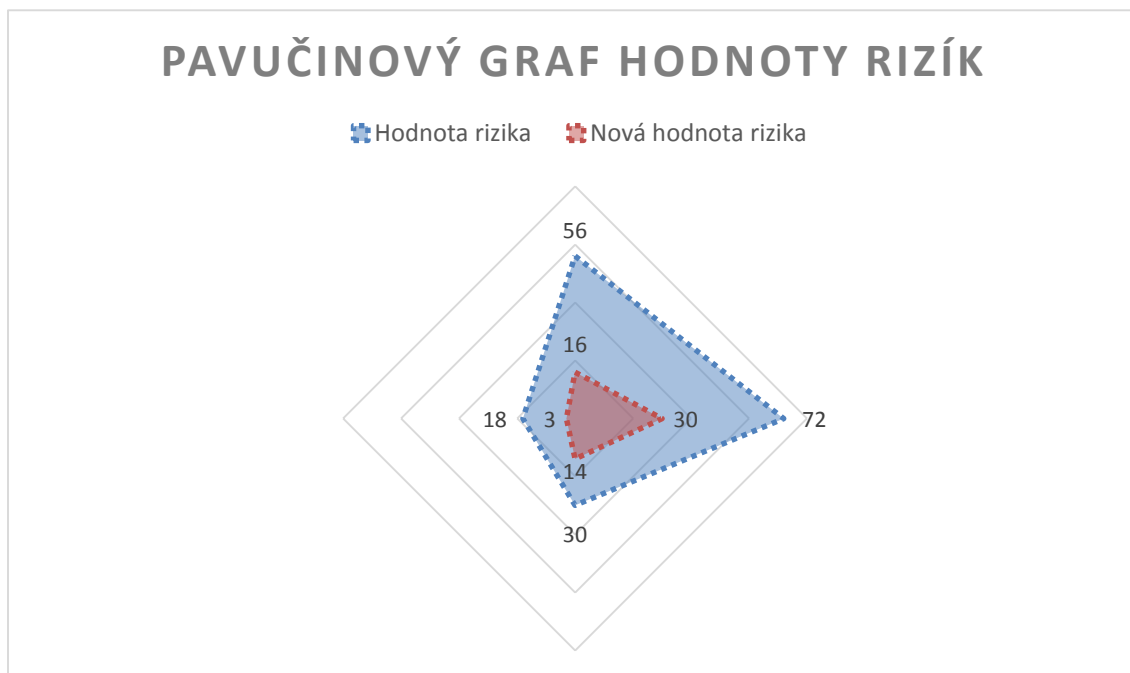
Po posúdení spracovania rizík sa v ďalších kapitolách budem podrobnejšie zaoberať príslušnou hrozbou predlžovania výroby. A to s cieľom optimalizovania výrobných dávok.

Po spracovaní návrhov a opatrení sme znovu vyčíslili hodnoty rizika, ktoré zobrazuje tabuľka č. 3.

**Tabuľka č. 3: Návrhy na opatrenie a nové hodnoty rizík (Zdroj: Vlastné spracovanie)**

Číslo	Návrhy na opatrenie	Pravdepodobnosť Hrozby (1-10)	Dopad	Nová hodnota rizika	Zodpovedná osoba
Riziko 1	Sprísnenie kontroly nad údržbou a správnym chodom strojov	4	4	16	Vedúci výroby
Riziko 2	Návrh na optimalizáciu výrobného procesu na základe matematického modelu	6	5	30	Peter Ftáčnik
Riziko 3	Recyklácia alebo objavenie nových možností využitia odpadového materiálu	7	2	14	Výskum a vývoj
Riziko 4	Zavedenie pravidelných preškolovacích prednášok, upozornenia pre používanie	1	3	3	Bezpečnostný technik

Pre lepšiu vizualizáciu sú výsledky vyjadrené v pavučinovom grafe rizík kde môžeme vidieť zníženie hodnoty rizík, ktoré by mali zabezpečiť navrhnuté opatrenia.



**Graf č. 1: Pavučinový graf hodnoty rizík (Zdroj: Vlastné spracovanie)**

V nasledujúcej kapitole sa budem zaoberať možným riešením optimalizácie postupnosti výrobných dávok a teda rozpracujem návrh na uskutočnenie zníženia hodnoty rizika pomocou softvéru na báze matematického modelu. Na základe tohto rozpracovania zachádzam do oblasti celočíselného lineárneho programovania.

## 4. Problematika celočíselného lineárneho programovania

Ku príkladu môžeme uviesť prípady optimalizácie výrobného procesu, kde môžu byť vyrobené len celé kusy, neexistuje 2,24 kusu [7].

Ku príkladu sú citujem: „*Kombinatorické problémy, v nich ide o zistenie takého riešenie z konečnej množiny prípustných riešení (obvykle veľmi rozsiahlej), ktoré optimalizuje danú účelovú funkciu. Ako príklady kombinatorických úloh môžeme uviesť úlohu obchodného cestujúceho, prirad'ovacie úlohy alebo úlohy rozvrhovania*“ [7, str. 96].

„*Úloha celočíselného programovania môže byť obecné formulovaná takto:*

$$\text{minimalizovať } f(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

*za podmienok*

$$g_i(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq 0, \quad i = 1, 2, \dots, m,$$

$$x_j \in M_j \subseteq Z, \quad j \in J$$

*Kde  $J \neq \emptyset$ ,  $J \subseteq \{1, 2, \dots, n\}$  a  $Z$  je množina celých čísel. Úlohy celočíselného programovania delíme podľa charakteru funkcií  $f, g_1, g_2, \dots, g_m$  na lineárne a nelineárne. Ak sú podmienky celočíselnosti viazané na všetky premenné (tj.  $J = \{1, 2, \dots, n\}$ ), jedná sa o úplne (rýdzo) celočíselnú úlohu. V rámci úloh celočíselného programovania tvorí zvláštnu skupinu úlohy bivalentného (alebo taktiež nula-jednotkového) programovania, vyznačujúce sa tým, že  $M_j = \{0, 1\}$ ,  $j = 1, 2, \dots, n$ “ [7, str. 96].*

### 4.1.1. Okružná dopravná úloha

Pri určovaní optimálnej postupnosti je možné využiť matematický model na určenie tejto najefektívnejšej postupnosti pomocou takzvanej okružnej dopravnej úlohy. Úloha obchodného cestujúceho nám v tomto modeli pomôže nájsť najkratšiu možnú cestu pri probléme s časovými rozpätiami pri výrobe lát.

Pri zostavovaní modelu sa odrazíme od binárnych premenných  $x_{ij}$ , ktoré sú rovné nule ak nezvolí trasu z miesta  $i$  do miesta  $j$ . Pričom zvolená trasa bude rovná jednej [5].

## 4.2. Úloha obchodného cestujúceho

Citujem: „Je dané  $n + 1$  miest a je známa matica  $C = (c_{ij})$  vzdialenosti medzi týmito mestami. Obchodný cestujúci, ktorý vycestuje z mesta (označme ho číslom 0), musí navštíviť všetky ostatné mestá práve jeden krát a vrátiť sa späť do mesta 0. Je treba stanoviť poradie, v ktorom musí navštíviť jednotlivé mestá, tak aby celková prekonaná vzdialenosť bola minimálna. Tento problém je možné matematicky formulovať napríklad takto:

$$\text{minimalizovať } f(X) = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n c_{ij} x_{ij}$$

za podmienok

$$\sum_{j=0}^n x_{ij} = 1, \quad i = 0, 1, \dots, n, \quad (1.1)$$

$$\sum_{i=0}^n x_{ij} = 1, \quad i = 0, 1, \dots, n, \quad (1.2)$$

$$u_i - u_j + nx_{ij} \leq n - 1, \quad i, j = 1, 2, \dots, n, \quad (1.3)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\}, \quad i, j = 0, 1, \dots, n, \quad (1.4)$$

kde

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{kedy obchodný cestujúci cestuje z mesta } i \text{ do mesta } j, \\ 0 & \text{v opačnom prípade} \end{cases}$$

Podmienky (1.1) znamenajú, že obchodní cestujúci opúšťa každé mesto jeden krát a analogické podmienky (1.2) znamenajú, že obchodní cestujúci vstupuje do každého mesta práve jeden raz. Podmienky (1.3) zabezpečujú, že sa trasa obchodného cestujúceho nerozpadne na niekoľkých navzájom nesúvisiacich podcyklov. Skutočne, pokiaľ by sme

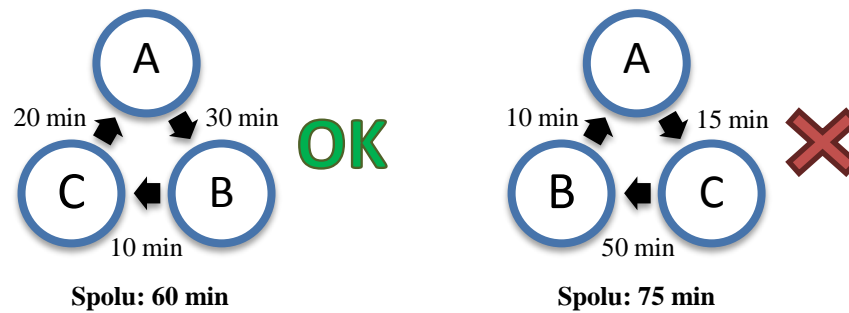


*mali nejaký cyklus neobsahujúci mesto 0, potom sčítaním všetkých nerovností (1.3), odpovedajúcim dvojiciam  $(i, j)$  patriacim do tohto cyklu, by sme dostali nezmyselný vzťah  $nk \leq (n - 1)k$  ( $k$  je počet miest, nachádzajúcich sa v uvedenom cykle) Odtiaľto vyplýva, že cykly neobsahujúce mesto 0 nemôžu byť súčasťou prípustných riešení. Premenné  $u_i$  v podmienkach (1.3) môžu byť ľubovoľné reálne hodnoty a máme tu teda príklad čiastočne celočíselnej úlohy. Pre nejakú prípustnú trasu obchodného cestujúceho je možné nájsť prípustné hodnoty premenných  $u_i$  tak, že položíme  $u_i = k$  teda, keď obchodný cestujúci navštívi  $i$ -té mesto na  $k$ -tom kroku trasy  $k = (1, 2, \dots, n)$ . Môžeme teda problém obchodného cestujúceho formulovať ako plne celočíselný problém s podmienkami  $u_i \in \{1, 2, \dots, n\}$  pre  $i = 1, 2, \dots, n$ “ [7, str. 98].*

Tento prípad modelu je možné aplikovať na rôzne situácie napríklad plánovanie trasy auta rôzneho rozvozu materiálu či výrobkov. Taktiež je ho možné použiť pri probléme výrobných dávok, v našom prípade zoradenia výrobných dávok, ktorým sa budem zaoberať. Kde miesto plánovaných navštívených miest nahradíme práve vybrané druhy lán a vzdialenosti budú u nás merané nie v kilometroch alebo v cene za prejdený úsek, ale v časovom rozmedzí, konkrétne v minútach. Tieto vzdialenosti v minútach predstavujú dobu príprav a nastavovania strojov z jedného konkrétne lana na druhé.

Pri použití časov dosiahneme rovnakého výsledku ako pri použití veličiny kilometrov. V prípade problému riešeného zásobníku výroby nám výsledok funkcie určí najkratšiu cestu akou sa majú produkty zoradiť, tak aby nastavovacie časy strojov do ktorých spadajú aj ďalšie vedľajšie časy (kontrola alebo manipulácia) boli čo najkratšie za dosiahnutím toho aby nevznikali zbytočné prestoje či omeškania.

Dovolím si jednoduchý príklad v probléme zoradenia výrobných dávok. Predstavme si, že vyrábame 3 láná v opakovanom cykle. Z výroby lana A na lano B je potrebný čas povedzme 30 minút, ale keďže lano C je z podobného materiálu nedôjde k manipulácií a z lana B na lano C bude teda príprava stroja trvať iba 10 minút. Pričom keby ideme z lana C na lano B musel by sa zmeniť materiál aj ozubenie pre iný výplet a operácia by trvala 50 minút. Opäť návrat k nastaveniam na lano A bude trvať 20 minút. Z lana B na lano A 10 minút a z A do C 15 minút.



Obr. č. 29: Príklad výberu postupnosti (Zdroj: Vlastné spracovanie)

Z obrázku je možné pozorovať zoradenie a súčty časov, došli sme teda k výsledku že možnosť zoradenia A-B-C je pre nás tá správna.

### 4.3. Stochastické programovanie

Pri obecnom tvare úlohy sa domnievame, že úloha bude deterministická. Deterministický model znamená, že všetky koeficienty, ktoré vstupujú do výpočtu sú dopredu známe, to jest nevyskytuje sa žiadna náhodnosť. Vďaka stochastickému programovaniu, ale môžeme do matematických modelov zaradiť aj parametre, ktoré sa vyznačujú náhodnosťou. Pri takejto náhodnosti postupujeme modelovaním veličín prostredníctvom pravdepodobnostného rozdelenia. Pričom náhodná premenná bude označená symbolom  $\xi$  [1].

Základný zápis takejto úlohy je možné vyjadriť podľa [6]:

$$\begin{array}{ll} \text{Min (minimalizuj)} & f(x, \xi), \\ \text{pri podmienkach} & g_i(x, \xi) \leq 0, i = 1, \dots, m, x \in X, \end{array}$$

vektor  $\xi$  obsahuje náhodné premenné, ktoré nie sú závislé na vektorovej premennej  $x$ . Na prístup k riešeniu úlohy sa dá realizovať výpočet podľa dvoch prístupov. Rozdeľuje sa podľa okamžiku pozorovania realizácie náhodného vektora  $\xi$  [6].

#### **4.3.1. Wait and see**

Tento prístup spočíva v tom, že rozhodovanie zahájime až potom, keď poznáme výsledok realizácie náhodného vektoru. Pre reálne výpočty teda môžeme použiť opakovane riešený deterministický model, pretože optimálne rozhodnutie sa uskutočňuje až podľa výsledku pozorovania realizácie náhodného vektoru [6].

#### **4.3.2. Here and now**

Pri praktických problémoch z reálneho sveta sa však stretávame s problémami, pri ktorých sa treba rozhodnúť ešte pred tým ako zistíme náhodnú veličinu. Tento prístup označujeme Here and now. Týmto prístupom sa ďalej v práci nebudeme zaoberať [6].

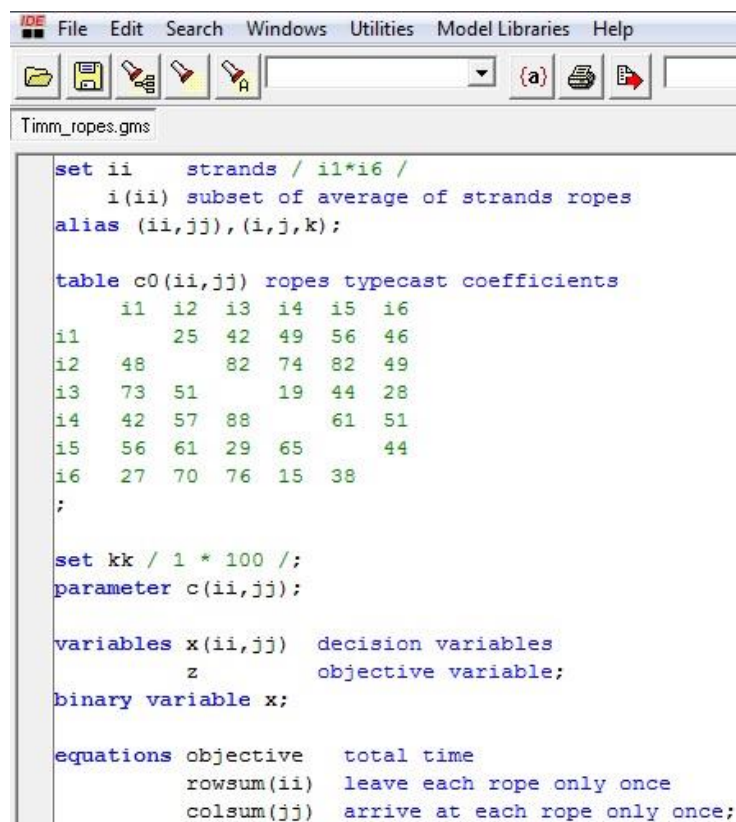
### **4.4. GAMS nástroj na modelovanie**

K vymodelovaniu situácie použijem nástroj GAMS (General Algebraic Modeling System). V GAMSe sa programuje jazykom vyššej úrovne, vďaka ktorému je možné modelovať matematické úlohy za pomoci algebrických príkazov. Tomuto jazyku porozumejú programátori, ale aj osoby využívajúce matematické modely [3].

GAMS umožňuje modelovanie a riešenie lineárnych, celočíselných a nelineárnych optimalizačných problémov. V programovacom prostredí sa dajú vytvoriť rôzne modely reálnych situácií, ktoré dokážu reagovať na nové podnety a tým padám je možné rýchlo upraviť model vzniknutej situácií [4].

Software vznikol vďaka vývojovému tímu v osemdesiatich rokoch 20. storočia a je podporovaný na rôznych typoch počítačových platforiem. GAMS obsahuje nielen pre nováčikov veľmi cennú súčasť, ktorou je veľká databáza ukážkových aplikačných prípadov [3, 4].

Vývojové prostredie GAMS podporuje platforma Windows a študentská licencia je voľne použiteľná a k dispozícii na ich webových stránkach.



```

set ii      strands / i1*i16 /
    i(ii) subset of average of strands ropes
alias (ii,jj), (i,j,k);

table c0(ii,jj) ropes typecast coefficients
      i1  i2  i3  i4  i5  i6
i1      25  42  49  56  46
i2      48      82  74  82  49
i3      73  51      19  44  28
i4      42  57  88      61  51
i5      56  61  29  65      44
i6      27  70  76  15  38
;

set kk / 1 * 100 /;
parameter c(ii,jj);

variables x(ii,jj)  decision variables
          z          objective variable;
binary variable x;

equations objective      total time
          rowsum(ii)     leave each rope only once
          colsum(jj)     arrive at each rope only once;

```

Obr. č. 30: Modelovacie prostredie Gamsu (Zdroj: Vlastné spracovanie)

Kód obsahuje rôzne príkazy napríklad **Set**, ktorý vyjadruje množiny použité v modeli. **Alias** sa používa v modeloch, ktoré sa zaoberajú iteráciou prvkov v rámci rovnakej sady. **Parameter** tiež patrí medzi príkazy, definuje pole, ktoré môže byť jednorozmerné alebo dvojrozmerné. a ďalšie deklaračné. Príkaz **Table** umožňuje tabuľkovo zadať hodnoty dvoj a viacrozmerných parametrov. **Variable** označuje premenné a **Binary variable** upresňuje ich hodnoty na 0 alebo 1 [3].

**Equations** určuje obmedzenie vrátane účelové funkcie. Označenie rovnosti je vyjadrené =E=, menšie alebo rovné =L=, väčšie alebo rovné =G= [3].

**Solve** spustí riešenie modelu, nesmie chýbať príkaz, ktorý určí či riešime minimalizáciu *minimizing* alebo *maximizing*, ktorým maximalizujeme. **Using** potom

vyjadruje typ riešenej úlohy. *MIP* je úloha zmiešaného celočíselného programovania. GAMS ponúka ďalšie možnosti napríklad *LP* pre lineárne programovanie a podobne [3].

Čo sa týka výstupu z GAMSu umožňuje exportovať výsledky do samostatných súborov rôzneho formátu. Najpoužívanejším je textový dokument alebo excelovská tabuľka. Ale je tu aj možnosť výsledky textového dokumentu vložiť do MS Excelu cez import dát a ďalej s výsledkami pracovať.

V ďalšej kapitole rozoberiem aplikovanie úlohy postupnosti výrobných dávok do prostredia softvéru.

## 5. Aplikácia matematického modelu

Výpočet modelu v prostredí GAMS závisí od určenia efektívneho postupu zadávania výrobkov do výroby. Použijem model úlohy obchodného cestujúceho, ktorý bude pozostávať z minimalizácie funkcie v rámci celočíselného programovania.

Prvá časť modelu pozostáva z naplnenia množiny reálnymi číslami, v našom prípade ide o množinu čísel, ktoré predstavujú časovú dĺžku pretypovacích časov vyjadrených v minútach.

Meraním prestupných časov medzi jednotlivými zmenami lán vo výrobe a po konzultácii s vedúcim pracovníkom som sa dopracoval k nasledovnej matici obsahujúcej časové údaje o zmene medzi jednotlivými lanami.

**Tabuľka č. 4: Matica pretypovacích časov jednotlivých druhov lán (Zdroj: Vlastné spracovanie)**

<i>Pretypovací čas lán</i>	<b>Golden Safety</b>	<b>Signal</b>	<b>Master</b>	<b>Flex</b>	<b>Flex double</b>	<b>Wincheline</b>
<b>Golden Safety</b>	x	25	42	49	56	46
<b>Signal</b>	48	x	82	74	82	49
<b>Master</b>	73	51	x	19	44	28
<b>Flex</b>	42	57	88	x	61	51
<b>Flex double</b>	56	61	29	65	x	44
<b>Wincheline</b>	27	70	76	15	38	x

Sú to časy potrebné na výmenu ozubených kolies, kontrolovacie, nastavovacie a manipulačné doby. Napríklad nastavovanie stroja a manipulácia s potrebným materiálom či výmena ozubenia z lana Golden Safety na lano Signal trvá 25 minút. Z Golden Safety na Master 42 minút a podobne.

Výrobná dávka obsahuje 6 druhov lán, pričom pretypovacie časy už poznáme. Výroba sa bude vykonávať v cykloch, teda opakovať v určitých intervaloch, ktoré budú zase záležať na objednávkach. Nejedná sa teda o jednorazovú zákazkovú výrobu. Preto bude výsledok znázornený vo výslednej postupnosti, ktorá bude v súčte časov najmenšia.

Keďže ide o výrobný cyklus, časy budú zoradené tak, že algoritmus preráta pretypovacie doby medzi všetkými lanami a znova sa vráti do lana, ktoré zvolil ako prvé.

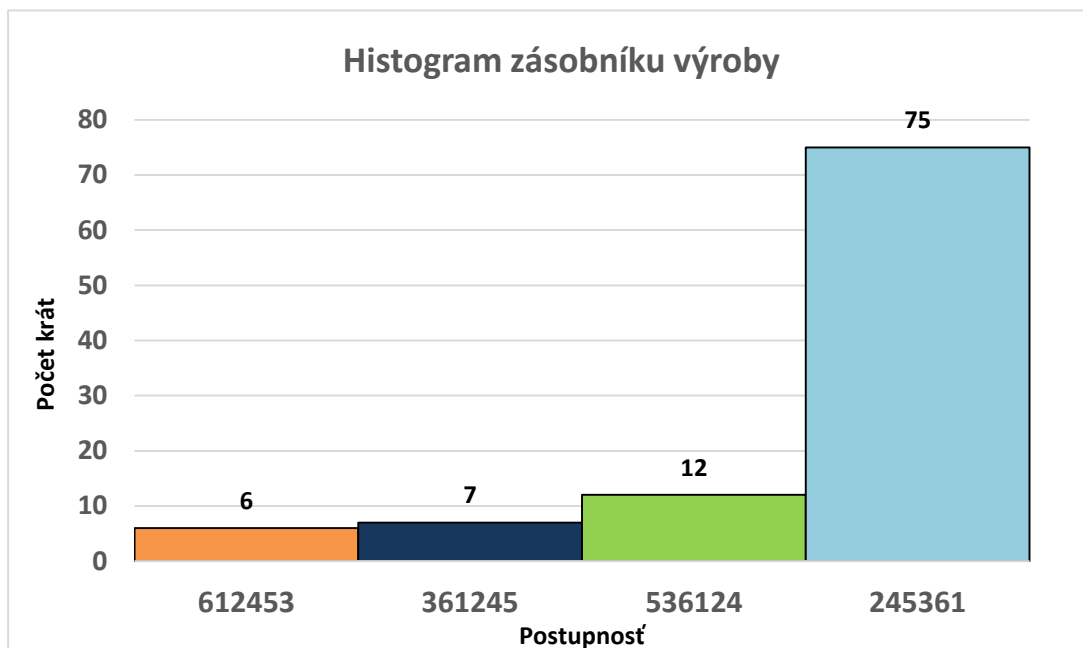
Časové intervaly pretypovania z tabuľky som importoval do GAMSu. Pre vyjadrenie náhodne variabilnej zložky, ktorou sú samozrejme doby medzi výmenou napríklad zo spomínaného Golden Safety na lano Signal, som použil viacnásobný výpočet. Prepočítanie modelu s pridaním náhodnosti prebehlo presne 100-krát s tým, že sa pri každom výpočte náhodne zmenil čas v rozmedzí od -20 do +20 minút na základe konzultácie s expertom z dôvodu náročného získania dát priamo z výroby. Takéto dvadsať minútové rozptýlenie môže spôsobiť ľudský faktor alebo malé technické zdržanie.

Mojim cieľom je minimalizovať tento celkový čas vhodným radením výrobných dávok za sebou a teda zefektívniť proces výrobných dávok. Samozrejme nesmiem zabudnúť do výpočtu zaradiť aj náhodnú veličinu prostredníctvom zmeny pretypovacích časov. Takto budem mať pripravené podklady pre rozhodovací proces, kde budú jasne stanovené rozmedzia výsledkov. Na základe spomínaných výsledkov budeme schopný určiť najvhodnejšiu postupnosť produktov pri zadávaní do výroby. Jednotlivé názvy druhov lán som nahradil číslami aby bolo spracovanie v GAMSe prístupnejšie. Očíslovanie jednotlivých lán je nasledovné:

**Tabuľka č. 5: Číslovanie lán matice v GAMSe (Zdroj: Vlastné spracovanie)**

Číslovanie lán v GAMSe	
1	Golden Safety
2	Signal
3	Master
4	Flex
5	Flex Double
6	Wincheline

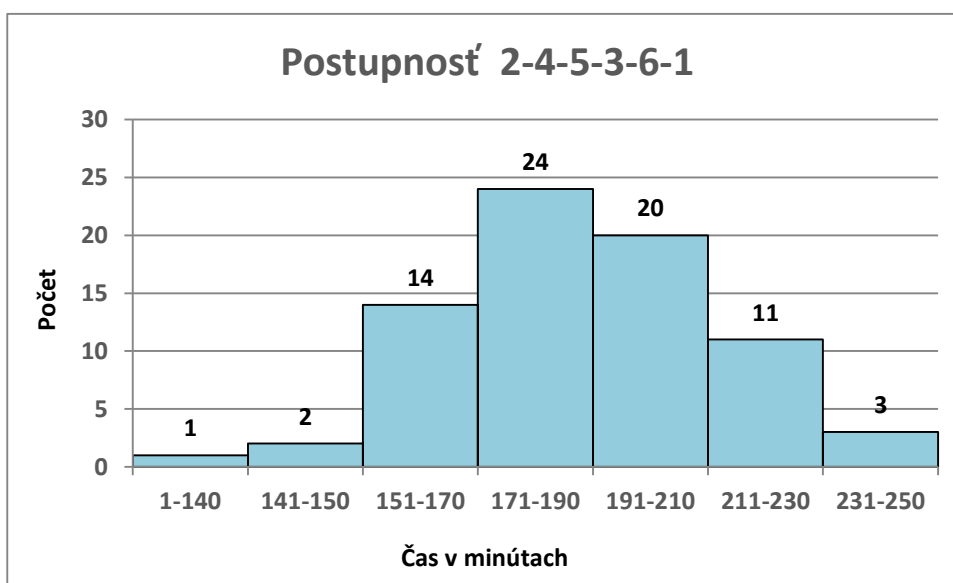
Výsledky výpočtov, ktoré som opakoval 100-krát vždy s náhodnými časovými zmenami v rozmedzí od -20 do +20 minút, môžeme vidieť v nasledujúcom histograme.



Graf č. 2: Histogram zásobníku výroby (Zdroj: Vlastné spracovanie)

Keď som podrobne analyzoval výsledky skúmaného javu došiel som pri jednotlivých postupnostiach k týmto výsledkom.

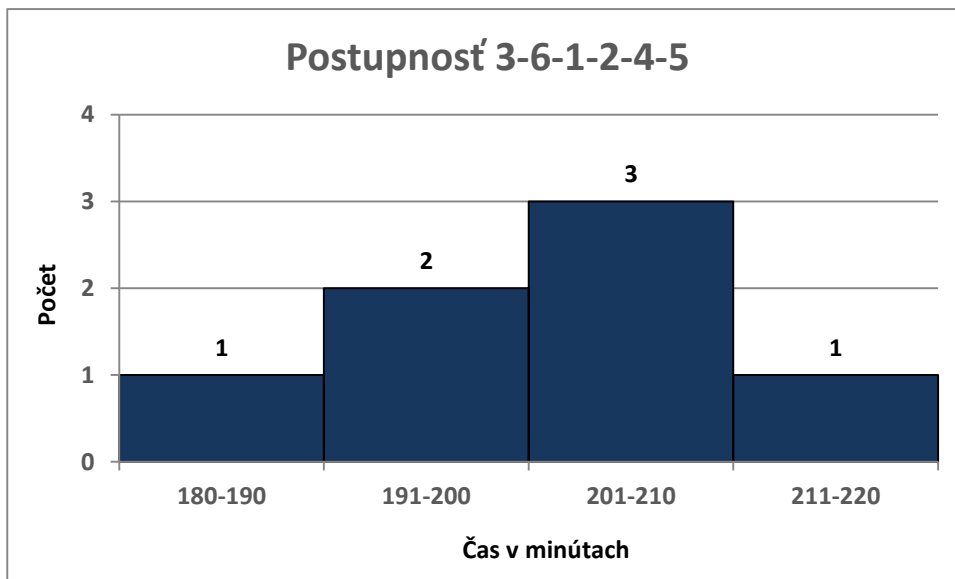
Postupnosť 2-4-5-3-6-1 sa javila ako najčastejšie zvolená možnosť. V 75 % prípadov zvolil algoritmus túto variantu. Najviac výsledkov sa vyskytlo v časovom rozmedzí 171 až 190 minút.



Graf č. 3: Histogram postupnosti 2-4-5-3-6-1 (Zdroj: Vlastné spracovanie)

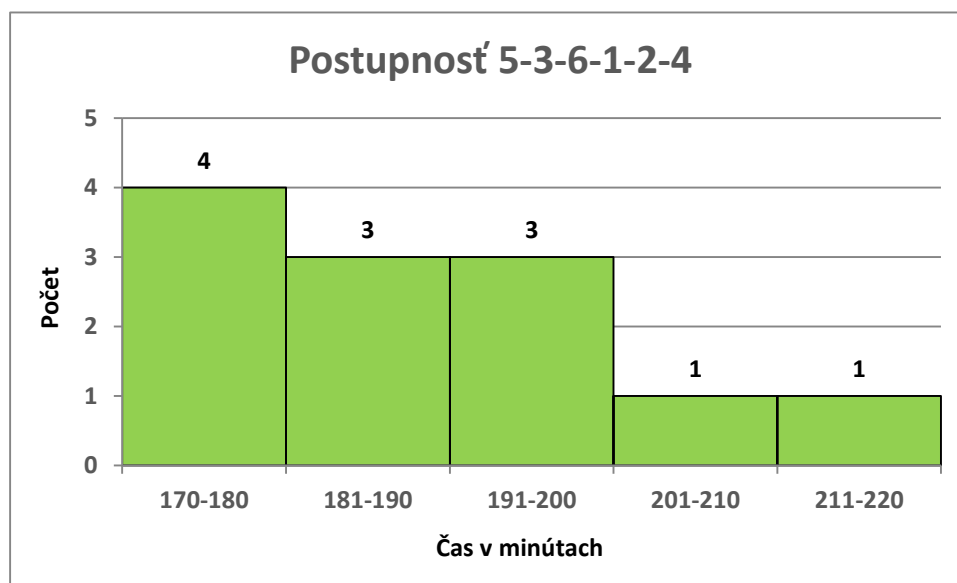


Postupnosť 3-6-1-2-4-5 bola výsledkom v 7 prípadoch kedy sa časy pohybovali v rozmedzí približne od 190 až 210 minút.



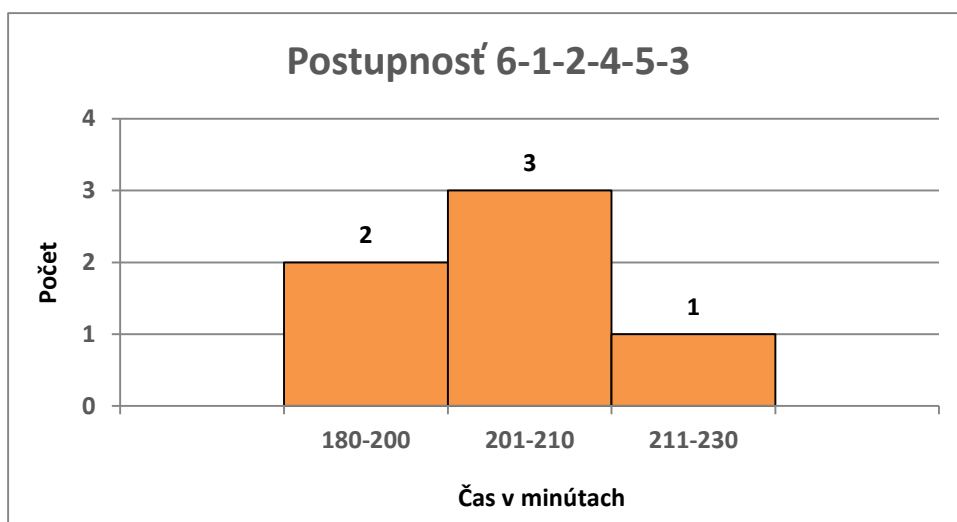
Graf č. 4: Histogram postupnosti 3-6-1-2-4-5 (Zdroj: Vlastné spracovanie)

Výsledky postupnosti 5-3-6-1-2-4 v časovom rozmedzí vyšli približne rovnako, najviac výsledkov v rozmedzí 180 až 200 minút za jeden cyklus výroby.



Graf č. 5: Histogram postupnosti 5-3-6-1-2-4 (Zdroj: Vlastné spracovanie)

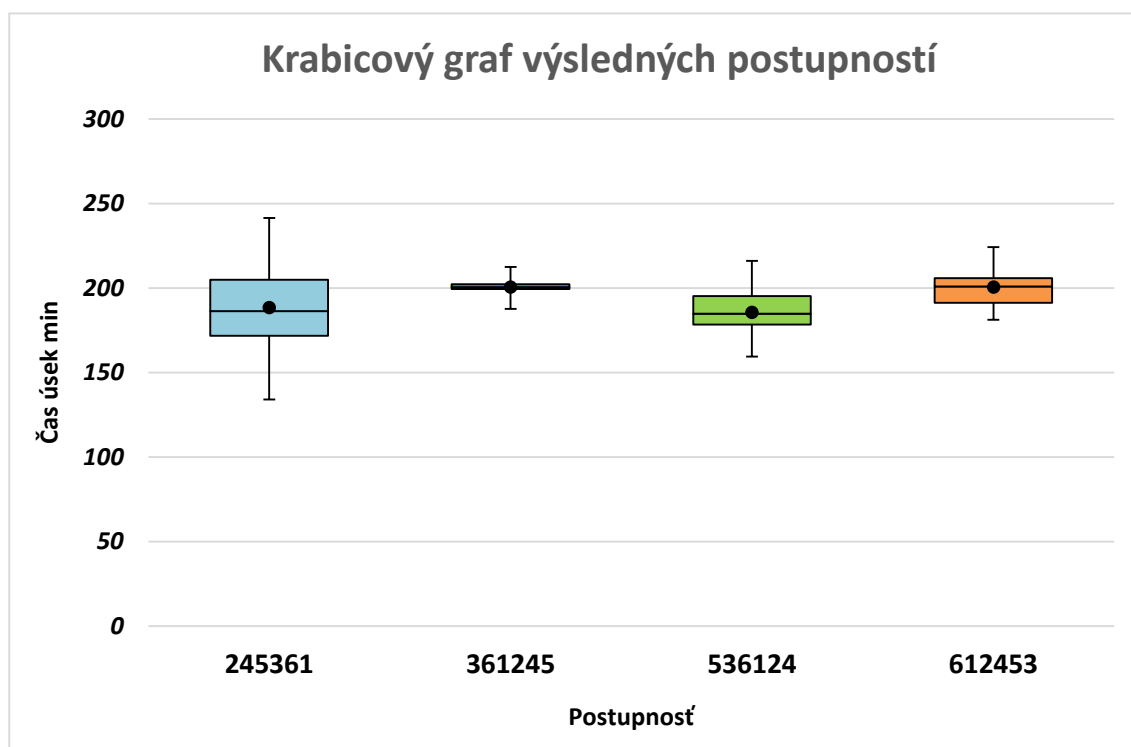
Posledný výsledkom výpočtu je zdávanie do výroby v poradí 6-1-2-4-5-3. Časová dĺžka vyšla medzi 180 až 210 min. Táto postupnosť vyšla pri výpočte iba 6-krát.



Graf č. 6: Histogram postupnosti 6-1-2-4-5-3 (Zdroj: Vlastné spracovanie)

Ďalším potrebným údajom je celková doba spolu, ktorá predstavuje časový úsek trvania jednotlivých prestupných operácií pri výrobe konkrétnych lán.

Výsledky po opakovaných výpočtoch po zahrnutí náhodnosti boli namerané a zobrazené aj v tomto krabicovom grafe.



Graf č. 7: Krabicový graf postupností (Zdroj: Vlastné spracovanie)

V tomto krabicovom grafe predelená čiara boxu v jednotlivých výsledných postupnostiach vyjadruje medián a bodka priemerný časový interval. Dolný koniec úsečky predstavuje minimum a horný maximálny čas nameraný v jednotlivých postupnostiach takzvaného zásobníku výroby zahrňujúci aj časové náhodnosti výpočtu.

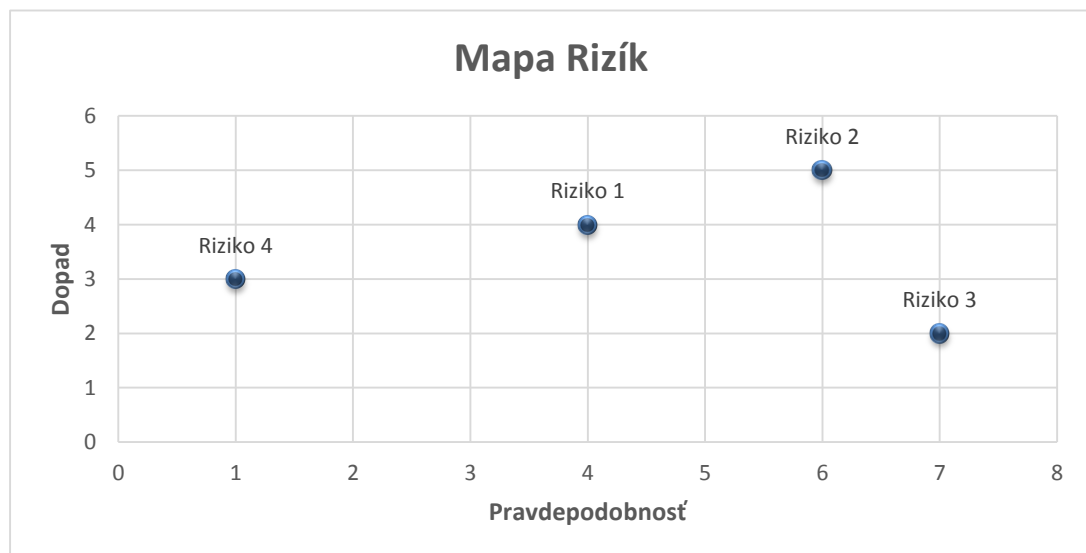
Tieto dosiahnuté výsledky nám poskytujú dôveryhodný podklad, ktorý môžeme priložiť k rozhodovaciemu procesu a dotýčny rozhodovateľ má týmto pádom lepší prehľad o prípadných skutočnostiach, ktoré môžu nastať pri jednotlivých časových výkyvoch.

## 6. Vyhodnotenie rizík a návrhy riešení

Z pohľadu vyhodnotenia rizík sme sa nakoniec dopracovali, že najväčšie nebezpečenstvo hrozí v oblasti zvyšovania náporov na výrobu, pričom nemajú zoptimalizovaný systém zadávania produktov do výroby.

Pri vyjadrovaní nových hodnôt rizík som pre lepšie zobrazenie použil aj mapu rizík kde je možné podrobne vidieť jednotlivé riziká a ich hodnoty, pričom:

- Riziko 1: Zastavenie výroby kvôli poruchám strojov.
- Riziko 2: Predlžovanie výrobného procesu (neefektívnosť zásobníku výroby).
- Riziko 3: Zvyšovanie nákladov skrze druhotné nevyužívanie odpadu.
- Riziko 4: Zvýšenie úrazovosti pracovníkov.



Graf č. 8: Mapa Rizík (Zdroj: Vlastné spracovanie)

Z výsledku vyplýva, že prvé a druhé riziko patrí do kategórie, ktoré v prípade vzniku môžu nepriaznivo narušiť chod výroby.

Čo sa týka hrozby poruchovosti strojov, zamedzí sa pravdepodobnosti vzniku rizika sprísnením dohľadu nad údržbou a pravidelným mazaním, ktoré sa bude uskutočňovať v rovnomerných intervaloch. Podmienečne zastavenie preťažovania strojov pri zrýchľovaní výroby tiež prispeje k redukcii porúch. V prípade nezvratnej

poruchy povolať firmu, ktorá má na starosti opravovanie týchto strojov. Za správny chod strojov bude zodpovedný vedúci výroby.

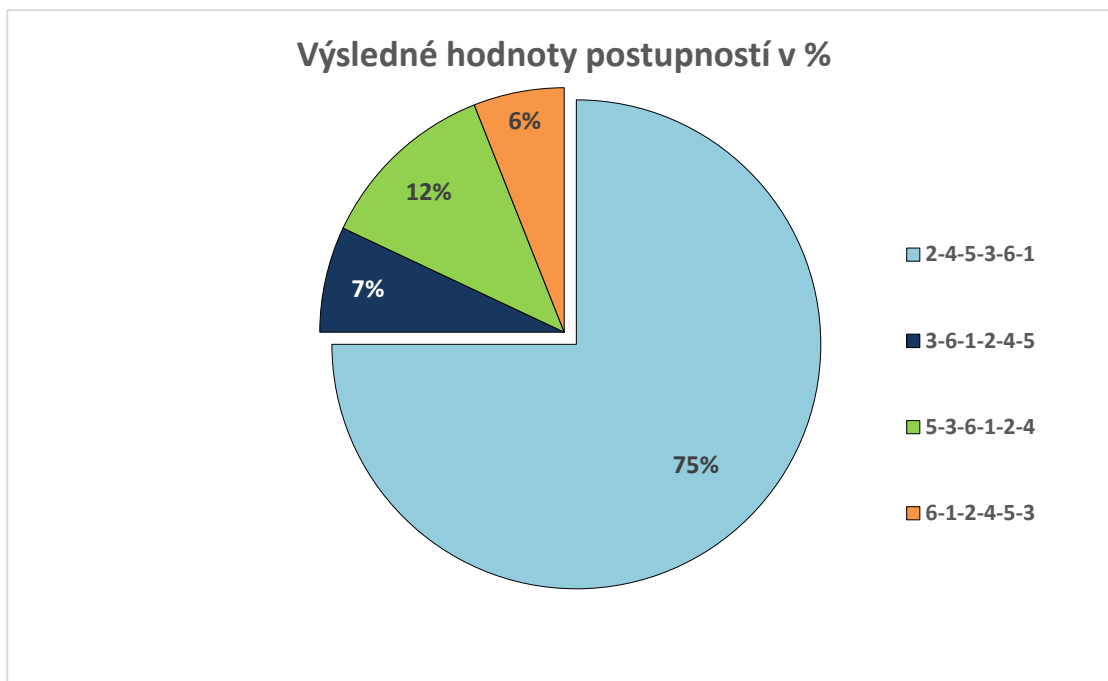
Ďalšou hrozbou firmy je predlžovanie výrobného procesu z hľadiska času, ktoré má na svedomí aj zvyšovanie nákladov na výrobu. Na zníženie tohto problému sme sa po konzultácii rozhodli použiť matematický model, ktorý nám odhalil najefektívnejší spôsob zadávania produktov do výroby. A teda by mal vyriešiť vznikajúci problém predlžovania jednotlivých výrobných postupov.

### **Vyhodnotenie výsledkov matematickej simulácie:**

GAMS po výpočtoch určil i s náhodnosťou 4 možné výsledky postupností, ktoré by sme mali zvoliť:

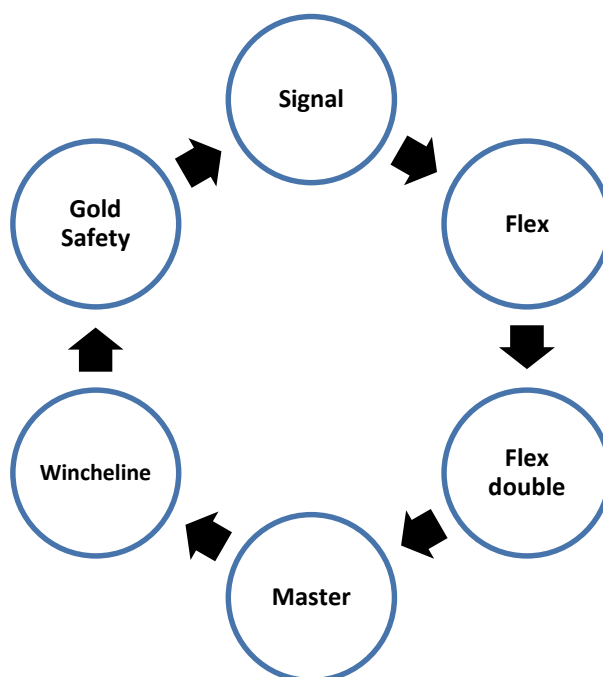
- Pri postupnosti 2-4-5-3-6-1 môžeme rátať v 75 % prípadoch s celkovou dĺžkou nastavovacích časov v rozmedzí 151 až 210 minút.
- Postupnosť 3-6-1-2-4-5 bola celkovo zvolená 7-krát. Z výsledkov v najviac objavujúcom sa časovom intervale od 190 až 210 minút.
- Postupnosť 5-3-6-1-2-4 sa objavuje zo 100 výpočtov v 12 % a najviac obsiahnutý je časový interval od 170 až 200 min.
- Pri postupnosti 6-1-2-4-5-3, ktorá bola zvolená z počtu výsledkov 6 krát a jej najčastejšie sa objavujúci časový interval je 180 až 210 min.

Pre lepšiu vizualizáciu počtu štyroch objavujúcich sa postupností zo 100-krát zvoleného výpočtu sú výsledky zobrazené v grafe č. 9.



**Graf č. 9: Výsledky postupností zobrazené v % (Zdroj: Vlastné spracovanie)**

Z výsledkov možno vyvodiť záver, že najvhodnejšia postupnosť, ktorú by mala výroba zvoliť je postupnosť 2-4-5-3-6-1. To jest pracovníci by mali dostať pokyn na výrobu v tomto cykle.



**Obr. č. 31: Postupnosť výrobkov zadaných do výroby (Zdroj: Vlastné spracovanie)**

V záležitosti získania ešte detailnejších časových údajov, by bolo možné uskutočniť výpočet znovu. Ale v tomto prípade by sme ukotvili zvolenú postupnosť a takto výpočet zopakovali. Predpokladám, že výsledky výpočtu by sa s najväčšou pravdepodobnosťou rozšírili o ďalšie časové úseky smerom hore.

Ďalším krokom by malo byť testovanie dosiahnutých výsledkov vo výrobe. Týmto testovaním a pozorovaním ako v jednotlivých cykloch výroby funguje výsledná simulácia by sa dalo zistiť či model odpovedá realite.

Prípadne úpravy do budúcnosti by som zacielenil na pozorovanie dĺžky cyklu v praxi. A to so zameraním na to kedy, a či vôbec by bolo možné aby výroba dosiahla zníženie konkrétne jednotlivých pretypovacích časov medzi vybranými lanami.

Takáto úprava by sa zase mohla odraziť v súčte celkových nastavovacích časov výrobného cyklu a požadovaný výsledok ešte skrátiť. Samozrejme v rámci produkčných možností a nepreťaženia strojov.

## Záver

Medzi najväčšie hrozby, ktoré ohrozujú výrobný proces, je neustály tlak na zvyšovanie produktivity. Tento tlak by nemuselo výrobné oddelenie uniesť v závislosti na to, že systém zadávania produktov do výroby nie je celkovo optimálny.

Našťastie sa pomocou analýzy rizík prišlo včas na určité hrozby, ktoré by nepriaznivými podmienkami ovplyvnili chod výroby, či už po finančnej alebo časovej stránke. V každom prípade tieto dve veličiny čas a financie sú medzi sebou v podnikateľskej sfére veľmi prepojené. Neefektívny chod môže spôsobiť značné útraty.

Pri realizácii simulácie výrobného zásobníku, sa prišlo k výsledkom, ktoré môžu pri rozhodovacom procese celkového zadávania produktov manažérovi alebo vedúcemu výroby priaznivo podporiť rozhodnutie. V rámci toho ako tieto výrobky zoradiť, tak aby bol súčet potrebných časov na vykonanie takéhoto úkonu čo najefektívnejší čiže v našom prípade najmenší.

Na základe výsledkov a analýz ohľadne zásobníku sa prišlo k záveru, ktorý priamo určuje postupnosť zadávania výrobkov do výroby zohľadňujúci i náhodnosť zmeny časov a tým pádom sme sa dostali k najnižšiemu celkovému súčtu času potrebného na prípravu výroby.

Ako ďalšiu možnosť skúmanej problematiky podrobnejšie do hĺbky by sme mohli použiť v prípade zákazkovej výroby úlohu obchodného cestujúceho, pričom by sme hľadali len cestu z bodu A do bodu B, tak aby sme do „trasy cyklu“ zahrnuli všetky potrebné laná prípadnej zákazky. Avšak výsledok by nezodpovedal cyklu, ale hľadali by sme najkratšiu cestu medzi jednotlivými lanami bez toho aby sa vrátil znovu k prvému výrobku. Táto problematika sa rozoberá v úlohe TSPP – traveling salesman path problem. Takto by sme boli schopný dosiahnuť rozmedzie ďalších časových údajov pre jednotlivé firmou získané zákazky a prispieť k rozumnému rozhodnutiu o ich zoradení.

Dosiahnutý výsledok sa otestuje v praxi a na základe fungovania sa bude upravovať, prípade pri časových zmenách prepočítavať.

Na záver si teda dovoľujem tvrdiť, že sme dosiahli priaznivých výsledkov a touto analýzou odhalili výrobe nezodpovedané otázky, čím má firma k dispozícii lepši podklad



a návod na postupnosť výrobného zásobníku i v rámci plánovania dodacích možností hotových výrobkov.

## 7. Zoznam použitých zdrojov

- [1] BIRGE, J. R. And F. LOUVEAUX. *Introduction to Stochastic Programming*. New York: Springer Series in Operations Research, 1997, 421 p. ISBN 0-387-98217-5.
- [2] EPC Diagram Symbols. *EdrawSoft* [online]. 2016 [cit. 2016-02-11]. Dostupné z: <https://www.edrawsoft.com/epc-diagram-symbols.php>
- [3] GAMS Development Corporation. *Gams Documentation Center* [online]. Washington, DC, USA., 2016 [cit. 2016-02-11]. Dostupné z: <https://www.gams.com/help/index.jsp>
- [4] GAMS World. GAMS DEVELOPMENT CORP. AND GAMS SOFTWARE GMBH. *Gams World* [online]. 2016 [cit. 2016-02-11]. Dostupné z: <http://www.gamsworld.org/>
- [5] GROS, Ivan a Jakub DYNAR. *Matematické modely pro manažerské rozhodování*. 2., upr. a rozš. vyd. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2015, 303 s. ISBN 978-80-7080-910-5.
- [6] KALL, P. and S. WALLACE. *Stochastic Programming*. 1st ed. New York: John Wiley & Sons, 1994, 326 p. ISBN 978-0471951087.
- [7] KLAPKA, Jindřich. *Metody operačního výzkumu*. Vyd. 2. Brno: VUTUM, 2001, iii, 165 s. ISBN 80-214-1839-7.
- [8] KLIMEŠ, Cyril. *Modelování podnikových procesů* [online]. První. Ostravská univerzita v Ostravě, 2014 [cit. 2016-02-11]. Dostupné z: <http://www1.osu.cz/~zacek/mopop/mopop.pdf>
- [9] Ripran. In: *Managementmania* [online]. [cit. 2016-04-01]. Dostupné z: <https://managementmania.com/sk/ripran-risk-project-analysis>
- [10] ŘEPA, Václav. *Podnikové procesy: procesní řízení a modelování*. 2., aktualiz. a rozš. vyd. Praha: Grada, 2007, 281 s. Management v informační společnosti. ISBN 978-80-247-2252-8
- [11] SMEJKAL, Vladimír a Karel RAIS. *Řízení rizik ve firmách a jiných organizacích*. 2., aktualiz. a rozš. vyd. Praha: Grada, 2006, 296 s. Expert (Grada). ISBN 80-247-1667-4.

- [12] SAVKA, Andrej. Preklad modelov EPC do Pertiho sietí. *Posterus: portál pre odborné publikovanie ISSN 1338-0087* [online]. 2011 [cit. 2016-02-11]. Dostupné z: <http://www.posterus.sk/?p=10922>
- [13] TICHÝ, Milík. *Ovládání rizika: analýza a management*. Praha: C.H. Beck, 2006. Beckova edice ekonomie. ISBN 80-717-9415-5.
- [14] TIMM, *Interné dokumenty firmy Timm s.r.o.* Trenčín 2016
- [15] Wilhelmsen. *Wilhelmsen Ship Service* [online]. [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: <http://wssproducts.wilhelmsen.com/ropes-1>

## Zoznam obrázkov

Obr. č. 1: Symbol udalosti .....	15
Obr. č. 2: Symbol funkcie .....	15
Obr. č. 3: Symbol organizačnej jednotky.....	15
Obr. č. 4: Symbol informácie alebo materiálu .....	16
Obr. č. 5: Symbol rozhrania procesu.....	16
Obr. č. 6: Symboly logických operátorov. ....	16
Obr. č. 7: Symbol dokumentácie.....	17
Obr. č. 8: Mapa výrobných hál a skladov .....	18
Obr. č. 9: Kotviaca loď a GoldSafety .....	19
Obr. č. 10: Použitie GoldSafety na rybích farmách .....	20
Obr. č. 11: Lano Master. ....	20
Obr. č. 12: Lano Signal .....	21
Obr. č. 13: Lano Flex .....	21
Obr. č. 14: Lano Flexdouble .....	22
Obr. č. 15: Lano Wincheline.....	22
Obr. č. 16: Obal proti oderu .....	24
Obr. č. 17: Ochranné komponenty Master.....	24
Obr. č. 18: Zobrazenie hlavných výrobných procesov firmy .....	26
Obr. č. 19: Stroj vyrábajúci jemné vlákna .....	27
Obr. č. 20: Proces výroby jemných vlákien .....	28
Obr. č. 21: Stroj na spleťanie priadzí.....	29
Obr. č. 22: Proces výroby spleťaných priadzí .....	30
Obr. č. 23: Proces prevíjania z cievok na bubny.....	32
Obr. č. 24: Stroj na výrobu lán.....	33
Obr. č. 25: Proces výroby lán.....	34
Obr. č. 26: Testovanie novo vyvinutých lán .....	35
Obr. č. 27: Proces dokončovania lán.....	36
Obr. č. 28: Proces balenia hotových produktov .....	37
Obr. č. 29: Príklad výberu postupnosti .....	50
Obr. č. 30: Modelovacie prostredie Gamsu .....	52

Obr. č. 31: Postupnosť výrobkov zadáných do výroby.....	62
---	----

## Zoznam tabuliek

Tabuľka č. 1: Pravdepodobnosť, hodnoty rizika a reakcie .....	44
Tabuľka č. 2: Hodnoty jednotlivých analyzovaných rizík.....	45
Tabuľka č. 3: Návrhy na opatrenie a nové hodnoty rizík .....	45
Tabuľka č. 4: Matica pretypovacích časov jednotlivých druhov lán .....	54
Tabuľka č. 5: Číslovanie lán matice v GAMSe .....	55

## Zoznam grafov

Graf č. 1: Pavučinový graf hodnoty rizík.....	46
Graf č. 2: Histogram zásobníku výroby .....	56
Graf č. 3: Histogram postupnosti 2-4-5-3-6-1 .....	56
Graf č. 4: Histogram postupnosti 3-6-1-2-4-5 .....	57
Graf č. 5: Histogram postupnosti 5-3-6-1-2-4 .....	57
Graf č. 6: Histogram postupnosti 6-1-2-4-5-3 .....	58
Graf č. 7: Krabicový graf postupností.....	58
Graf č. 8: Mapa Rizík.....	60
Graf č. 9: Výsledky postupností zobrazené v % .....	62

## **Zoznam príloh**

Príloha 1: Zdrojový kód TSP problému

Príloha 2: Výsledné hodnoty opakovaných výpočtov s náhodnou veličinou

Príloha 3: Súbor GAMSu a výstupu v excelu na CD

# Prílohy

## Príloha č. 1: Zdrojový kód TSP problému

```
$title Traveling Salesman Problem - Two (TSP2,SEQ=178)
$eolcom //
$ontext
  This is the second problem in a series of traveling salesman
  problems. The formulation in this model uses subtour elimination
  constraints of the form

      
$$u(i) - u(j) + n \cdot x(i,j) \leq n-1$$


  Additional information can be found at:

  http://www.gams.com/modlib/adddocs/tsp2doc.htm

  Kalvelagen, E, Model Building with GAMS. forthcoming
  de Wetering, A V, private communication.

$offtext

set ii      strands / i1*i6 /
    i(ii) subset of average of strands ropes
alias (ii,jj), (i,j,k);

table c0(ii,jj) ropes typecast coefficients
      i1  i2  i3  i4  i5  i6
i1      25  42  49  56  46
i2      48      82  74  82  49
i3      73  51      19  44  28
i4      42  57  88      61  51
i5      56  61  29  65      44
i6      27  70  76  15  38
;

set kk / 1 * 100 /;
parameter c(ii,jj);

variables x(ii,jj)  decision variables
          z          objective variable;
binary variable x;

equations objective    total time
          rowsum(ii)   leave each rope only once
          colsum(ii)   arrive at each rope only once;
```

```

objective.. z =e= sum((i,j), c(i,j)*x(i,j));

rowsum(i).. sum(j, x(i,j)) =e= 1;
colsum(j).. sum(i, x(i,j)) =e= 1;

x.fx(ii,ii) = 0;
set ij(ii,jj) exclude first row and column; ij(ii,jj) = ord(ii)>1 and ord(jj)>1;

variable u(ii) subtour elimination strategy 3

equation se(ii,jj) subtour elimination constraints;

se(ij(i,j)).. u(i) - u(j) + card(i)*x(i,j) =l= card(i) - 1;

model tsp / objective, rowsum, colsum, se /;

i(ii) = ord(ii);

option optcr=0.05;

file out / "vystup_timm.txt" /;
loop(kk,
c(ii,jj) = c0(ii,jj) + uniform(-20,20);
solve tsp min z using mip;

display x.l;

put out;
put " "
loop(jj, put jj.tl); put /;
loop(ii, put ii.tl;
loop(jj, put x.L(ii,jj) ); put /;
);

```



**Príloha č. 2: Výsledné hodnoty opakovaných výpočtov s náhodnou veličinou**

<b>Postupnosti</b>	<b>Výsledky</b>	<b>Čas</b>
<i>Postupnosť výpočet 1</i>	245361	206,65
<i>Postupnosť výpočet 2</i>	536124	192,93
<i>Postupnosť výpočet 3</i>	536124	194,73
<i>Postupnosť výpočet 4</i>	361245	199,34
<i>Postupnosť výpočet 5</i>	245361	181,38
<i>Postupnosť výpočet 6</i>	361245	187,62
<i>Postupnosť výpočet 7</i>	245361	192,81
<i>Postupnosť výpočet 8</i>	245361	159,84
<i>Postupnosť výpočet 9</i>	245361	173,87
<i>Postupnosť výpočet 10</i>	612453	181,28
<i>Postupnosť výpočet 11</i>	245361	189,07
<i>Postupnosť výpočet 12</i>	612453	224,32
<i>Postupnosť výpočet 13</i>	245361	183,45
<i>Postupnosť výpočet 14</i>	245361	182,51
<i>Postupnosť výpočet 15</i>	245361	172,86
<i>Postupnosť výpočet 16</i>	245361	187,88
<i>Postupnosť výpočet 17</i>	245361	134,14
<i>Postupnosť výpočet 18</i>	245361	154,84
<i>Postupnosť výpočet 19</i>	245361	192,88
<i>Postupnosť výpočet 20</i>	361245	203,22
<i>Postupnosť výpočet 21</i>	612453	188,27
<i>Postupnosť výpočet 22</i>	245361	192,82
<i>Postupnosť výpočet 23</i>	245361	192,52
<i>Postupnosť výpočet 24</i>	245361	216,34
<i>Postupnosť výpočet 25</i>	245361	166,88
<i>Postupnosť výpočet 26</i>	245361	219,91
<i>Postupnosť výpočet 27</i>	245361	186,31
<i>Postupnosť výpočet 28</i>	245361	202,46
<i>Postupnosť výpočet 29</i>	245361	167,98
<i>Postupnosť výpočet 30</i>	612453	201,51
<i>Postupnosť výpočet 31</i>	245361	186,36
<i>Postupnosť výpočet 32</i>	245361	165,79
<i>Postupnosť výpočet 33</i>	245361	177,72
<i>Postupnosť výpočet 34</i>	612453	207,27
<i>Postupnosť výpočet 35</i>	245361	166,32
<i>Postupnosť výpočet 36</i>	245361	199,15
<i>Postupnosť výpočet 37</i>	245361	228,34
<i>Postupnosť výpočet 38</i>	245361	204,14
<i>Postupnosť výpočet 39</i>	245361	205,7

<i>Postupnost' výpočet 40</i>	245361	207,41
<i>Postupnost' výpočet 41</i>	245361	155,39
<i>Postupnost' výpočet 42</i>	245361	206
<i>Postupnost' výpočet 43</i>	245361	195,09
<i>Postupnost' výpočet 44</i>	245361	152,06
<i>Postupnost' výpočet 45</i>	612453	200,59
<i>Postupnost' výpočet 46</i>	245361	201,19
<i>Postupnost' výpočet 47</i>	245361	171,42
<i>Postupnost' výpočet 48</i>	245361	143,83
<i>Postupnost' výpočet 49</i>	536124	216,04
<i>Postupnost' výpočet 50</i>	245361	171,92
<i>Postupnost' výpočet 51</i>	245361	150,16
<i>Postupnost' výpočet 52</i>	245361	190,36
<i>Postupnost' výpočet 53</i>	361245	199,38
<i>Postupnost' výpočet 54</i>	245361	171,55
<i>Postupnost' výpočet 55</i>	245361	159,46
<i>Postupnost' výpočet 56</i>	245361	185,78
<i>Postupnost' výpočet 57</i>	536124	159,39
<i>Postupnost' výpočet 58</i>	245361	160,46
<i>Postupnost' výpočet 59</i>	245361	185,21
<i>Postupnost' výpočet 60</i>	536124	174,28
<i>Postupnost' výpočet 61</i>	245361	186,52
<i>Postupnost' výpočet 62</i>	245361	153,42
<i>Postupnost' výpočet 63</i>	245361	172,68
<i>Postupnost' výpočet 64</i>	245361	196,9
<i>Postupnost' výpočet 65</i>	245361	179,69
<i>Postupnost' výpočet 66</i>	536124	200,71
<i>Postupnost' výpočet 67</i>	361245	212,46
<i>Postupnost' výpočet 68</i>	245361	197,16
<i>Postupnost' výpočet 69</i>	245361	191,64
<i>Postupnost' výpočet 70</i>	245361	237,94
<i>Postupnost' výpočet 71</i>	245361	167,37
<i>Postupnost' výpočet 72</i>	245361	223,05
<i>Postupnost' výpočet 73</i>	245361	185,38
<i>Postupnost' výpočet 74</i>	245361	164,28
<i>Postupnost' výpočet 75</i>	245361	206,24
<i>Postupnost' výpočet 76</i>	245361	149,84
<i>Postupnost' výpočet 77</i>	245361	213,53
<i>Postupnost' výpočet 78</i>	245361	193,06
<i>Postupnost' výpočet 79</i>	536124	197,06
<i>Postupnost' výpočet 80</i>	245361	228,18

<i>Postupnost' výpočet 81</i>	361245	201,2
<i>Postupnost' výpočet 82</i>	245361	223,7
<i>Postupnost' výpočet 83</i>	245361	223,36
<i>Postupnost' výpočet 84</i>	245361	171,94
<i>Postupnost' výpočet 85</i>	361245	200,51
<i>Postupnost' výpočet 86</i>	245361	182,3
<i>Postupnost' výpočet 87</i>	536124	184,66
<i>Postupnost' výpočet 88</i>	245361	226,77
<i>Postupnost' výpočet 89</i>	536124	179,68
<i>Postupnost' výpočet 90</i>	245361	241,5
<i>Postupnost' výpočet 91</i>	536124	161,87
<i>Postupnost' výpočet 92</i>	536124	180,48
<i>Postupnost' výpočet 93</i>	245361	233,09
<i>Postupnost' výpočet 94</i>	245361	175,15
<i>Postupnost' výpočet 95</i>	245361	197,33
<i>Postupnost' výpočet 96</i>	245361	226,31
<i>Postupnost' výpočet 97</i>	245361	185,09
<i>Postupnost' výpočet 98</i>	245361	184,75
<i>Postupnost' výpočet 99</i>	245361	220,97
<i>Postupnost' výpočet 100</i>	536124	185,16